

30-0018/002

INSTITUT FÜR BAUSTOFFKUNDE UND STAHLBETONBAU
DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG
DIREKTOREN: PROF. DR.-ING. K. KORDINA · PROF. DR.-ING. F. S. ROSTASY



A b s c h l u ß b e r i c h t

"Untersuchung von Verfahren zur Ermittlung der
Alterungsbeständigkeit dämmschichtbildender
Brandschutzanstriche für Stahlbauteile"

Prof. Dr.-Ing. K. Kordina
Dr.-Ing. J. Neisecke

Die vorliegende Forschungsarbeit wurde aus Mitteln des
Niedersächsischen Vorabs der Stiftung Volkswagenwerk finanziert.
Die Bewilligung der erforderlichen Mittel erfolgte am 8. Juli 1970
durch den Erlaß II/2/4-B VII 3r.05-49/70 des Niedersächsischen
Kultusministers.

DK 614.84

1978

Postsendungen:
Beethovenstraße 52, 3300 Braunschweig
Erfüllungsort und Gerichtsstand Braunschweig

Fernsprecher: (05 31) 391 22 01

Fernschreiber: 0 52 698 fibstb d

Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeines
2. Dämmschichtbildende Brandschutzsysteme
3. Untersuchungsmethoden und Prüfverfahren
 - 3.1 Magnetinduktive Schichtdickenmessungen
 - 3.2 Schaukel-Härteprüfer nach Zeidler
 - 3.3 Härteprüfung mit dem Kreismesser
 - 3.4 Die Kesternichprüfung
 - 3.5 Brandversuche mit dem Gegenheizgerät
4. Versuchsprobekörper
 - 4.1 Probekörperabmessungen und -material
 - 4.2 Beschichtungsaufbau
5. Versuchsprobekörper-Bewitterung
 - 5.1 Natürliche Bewitterung
 - 5.2 Künstliche Bewitterung
6. Auswahl und Beurteilung von Klimafaktoren für Laborkurzzeitversuche
 - 6.1 Ermittlung von aggressiven Bestandteilen der Luft
 - 6.2 Temperaturen und Temperaturwechsel im Außenklima
 - 6.3 Aufnahme und Abgabe von Feuchtigkeit
 - 6.4 Kurzzeitalterungsprüfung für Brandschutzaußenanstriche
 - 6.5 Kurzzeitalterungsprüfung für Brandschutzinnenanstriche
7. Beobachtung der natürlichen und künstlichen Alterung mittels zerstörungsfreier Prüfmethoden

8. Verhalten dämmschichtbildender Brandschutzsysteme bei Innen- und Außenbewitterung
9. Verhalten dämmschichtbildender Brandschutzsysteme bei künstlicher Bewitterung
 - 9.1 Untersuchungen im Kesternichgerät
 - 9.2 Beanspruchung durch Temperaturschocks
 - 9.3 Kesternichprüfungen mit Temperatur- und Frost-Tau-Wechseln
10. Brandversuche mit dem Gegenheizgerät
11. Zusammenfassung und Empfehlungen
12. Literaturverzeichnis

1. Allgemeines

Im Laufe des Jahres 1971 wurden vom Institut für Bautechnik, Berlin, die ersten dämmschichtbildenden Brandschutzanstriche für Stahlbauteile allgemein bauaufsichtlich zugelassen.

Damit stand ein neuartiges Brandschutzsystem zur Verfügung, das bisherige Brandschutzmaßnahmen, wie z.B. Ummanteln mit Putzen oder Verkleiden mit wärmedämmenden Platten, ergänzte. Diese Anstrichsysteme sind je nach Formulierung und Anstrichaufbau dazu geeignet, Stützen, Vollwandträger und Stabfachwerke aus Stahl in die Feuerwiderstandsklasse "F 30" nach DIN 4102 einzureihen.

Die bauaufsichtlichen Zulassungsbescheide des Instituts für Bautechnik erstreckten sich zunächst nur auf einen Zeitraum von höchstens zwei Jahren, da keine gesicherten Erkenntnisse hinsichtlich der Alterungsbeständigkeit dämmschichtbildender Brandschutzanstriche - weder für einzelne Systeme noch allgemein - vorlagen. Diese Zurückhaltung bei der Zulassung war angebracht und gerechtfertigt, da selbst bei Brandversuchen unter Laborbedingungen im Rahmen von Zulassungsprüfungen die 30-Minutengrenze oft nicht erreicht wurde. Während man jedoch die Schutzwirkung eines mit dämmschichtbildenden Anstrichen versehenen Stahlbauteiles unmittelbar nach der Beschichtung im Brandversuch nachweisen konnte, mußten für die Ermittlung der Alterungsbeständigkeit Alterungsprüfungen (Zeitrafferversuche) herangezogen werden, die zwar die wichtigsten Klimafaktoren enthielten, die aber im wesentlichen auf den Erfahrungen bei der Alterungsprüfung herkömmlicher Anstriche aufbauten. Die genaue Kenntnis dieser Situation durch die Mitarbeit des Instituts für Baustoffkunde und Stahlbetonbau im Sachverständigenausschuß "Dämmschichtbildender Brandschutzbeschichtungen" des Instituts für Bautechnik, Berlin, war Anlaß für die Formulierung und Durchführung der hier geschilderten Forschungsaufgabe.

2. Dämmschichtbildende Brandschutzsysteme

Dämmschichtbildende Brandschutzsysteme für Stahlbauteile sind allgemein wie folgt aufgebaut:

- a) Grundierung, bestehend aus einer bewährten Korrosionsschutzgrundierung
- b) Dämmschichtbildner
- c) Deck-(Schutz-)anstrich

Die Aufgabe der Grundierung ist es, ein Unterrosten des gesamten Systems und damit eine verminderte Haftung bzw. ein Herabfallen des Schutzanstriches zu verhindern.

Wesentlichster Bestandteil des Systems ist naturgemäß der Dämmschichtbildner, der im Brandfall bei Temperaturen zwischen 150° und 250°C eine bis zu 50 mm dicke, wärmedämmende Schaumschicht bildet. Diese Schaumschicht besteht aus einer Vielzahl in sich abgeschlossener Bläschen. Das sie tragende Kohlenstoffgerüst verascht aber bei fortschreitender Brandbeanspruchung, so daß die Schaumschicht allmählich von der Oberfläche her abgebaut wird und in ihrer Wirkung nachläßt. Die Dämmschicht wird wegen der erforderlichen Mindestmenge an aufschäumbaren Material und der daraus für ein Anstrichsystem resultierenden sehr hohen Trockenschichtdicke von etwa 1000 µ (= 1 mm) in mehreren Arbeitsgängen (2 bis 3) aufgebracht. Die einzelnen Lagen werden dabei unterschiedlich pigmentiert, so daß durch einen Anschnitt die Vollständigkeit des fertigen Systems auf optischem Wege sicher überprüfbar ist. Neuerdings gibt es Dämmschichtbildner, bei denen die zum Aufbau einer Schaumschicht im Brandfall erforderliche Materialmenge in nur einem Arbeitsgang aufgebracht werden kann. Diese Systeme haben wohl den Vorteil größerer Wirtschaftlichkeit infolge eingesparter Arbeitsgänge. Hier wirken sich jedoch Nachlässigkeiten bei der Applikation stärker aus als bei mehrschichtigen Systemen, wo Fehler in einer Schicht durch die

anderen Schichten wieder ausgeglichen werden können, was eine insgesamt gleichmäßigere Schichtdicke zur Folge hat. Die einzelnen Schichten des Dämmschichtbildners können durch Spritzen, Streichen oder Rollen aufgebracht werden.

Obwohl die Anstrichmittelhersteller ihre Rezepturen naturgemäß nicht bekanntgeben, werden die Zusammensetzungen der verschiedenen Systeme doch wenigstens ähnlich sein (verwendet werden: Harnstoff-Dicyandiamid-Formaldehyd-Kondensate als Schaumbildner und Treibgaslieferanten, Ammoniaksalze (z.B. Phosphate) als Treibgaslieferanten und Phosphorsäurebildner, Stärke und Dextrin als Füllstoffe sowie oftmals inerte, kleinste Fasern, die für eine bessere Stabilität der durch Hitzeeinwirkung erzeugten Schaumschicht sorgen, vgl. auch [23-4]).

Der Decklack dient der optischen Gestaltung. Ihm kommt aber gleichzeitig die sehr wichtige Aufgabe zu, den Dämmschichtbildner vor Feuchteeinwirkung zu schützen. Wichtig dabei ist, daß der Decklack im Brandfall die Schaumbildung des Dämmschichtbildners nicht behindert.

Nach [1] werden dämmschichtbildende Brandschutzbeschichtungen hinsichtlich ihres Anwendungsbereiches für "Innenanwendung" und für "Außenanwendung" unterschieden. Danach dürfen Innenanstriche nur dort eingesetzt werden, wo sie vor unmittelbarem Witterungseinfluß geschützt sind. Im einzelnen müssen die Beschichtungen

- a) die Einreihung der zu schützenden Stahlbauteile in die Feuerwiderstandsdauer F 30 nach DIN 4102, Teil 2 ermöglichen,
- b) auch bei einer von DIN 4102 abweichenden Feuerbeanspruchung (Schwelbrand) wirksam sein,
- c) festhaftend sein,

- d) alterungsbeständig und - bei Außenanwendung - witterungsbeständig sein sowie
- e) derart beschaffen sein, daß ein einwandfreier Korrosionsschutz für das Stahlbauteil gewährleistet ist (vgl. [1]) .

Zu Beginn dieser Forschungsarbeit wurden von acht inländischen Herstellern insgesamt neun verschiedene dämmschichtbildende Brandschutzsysteme entwickelt, von denen aber nur wenige bereits eine bauaufsichtliche Zulassung besaßen. Eines dieser neuen Systeme war direkt als Außenanstrich entwickelt worden, ein weiteres sollte nach Angaben des Herstellers ebenfalls für eine Verwendung im Freien geeignet sein. Von den acht inländischen Herstellern haben zwischenzeitlich fünf die Produktion ihrer dämmschichtbildenden Brandschutzsysteme eingestellt. Dieser Tatbestand darf jedoch keinesfalls zu der falschen Annahme verleiten, daß das dämmschichtbildende Brandschutzsystem versagt hat. Richtig vielmehr ist, daß nur wenige Hersteller bereit und - was die finanziellen Aufwendungen anbetrifft - in der Lage waren, ein Schutzsystem zu entwickeln, das den vorstehend genannten Anforderungen entsprach.

In die hier beschriebenen Untersuchungen wurden alle sieben auf dem inländischen Markt in den Jahren 1970/71 angebotenen, dämmschichtbildenden Brandschutzbeschichtungen einbezogen.

3. Untersuchungsmethoden und Prüfverfahren

Die zur Zeit sicherste Methode, die Alterungsbeständigkeit einer dämmschichtbildenden Brandschutzbeschichtung zu ermitteln, ist der Brandversuch an beschichteten und entsprechend lange ausgelagerten Stahlplatten mit dem Gegenheizgerät. Soll die Alterungsbeständigkeit eines neuentwickelten Anstrichmaterials - z.B. im Rahmen von Zulassungsversuchen - ermittelt werden, wird ebenfalls der

Brandversuch mit dem Gegenheizgerät herangezogen. Vor dem Brandversuch werden die Versuchsplatten jedoch zeitlich gerafft und entsprechend intensiveren Klimaten bzw. Klimawechseln ausgesetzt. Die jeweils ausgewählten Klimabeanspruchungen richten sich dabei nach dem späteren Einsatzbereich ("innen" oder "außen") des dämmschichtbildenden Anstrichsystems. Neben der Beanspruchung im Klimagerät und dem Brandversuch mit dem Gegenheizgerät soll hier auch der Frage nachgegangen werden, ob mit anderen, aus der Farb- und Anstrichprüfung bekannten Untersuchungsverfahren die Alterungsbeständigkeit selbst bzw. der Wert eines Zeitraffertests zur Alterungsbeständigkeit festgestellt werden kann. Zu diesem Zweck wurden die zerstörungsfreie, magnet-induktive Schichtdickenmessung, die sog. Härteschaukel nach Zeidler sowie die Härteprüfung mit dem Kreismesser nach Buchholz herangezogen. Die einzelnen Verfahren sollen hier kurz erläutert werden. Umfangreichere Beschreibungen finden sich beispielsweise in [2] sowie in [4-22] .

3.1 Magnetinduktive Schichtdickenmessung

Für die hier anstehenden Untersuchungen wurde das Meßgerät Leptoskop 2001 der Firma Deutsch, Wuppertal, angeschafft. Voraussetzung für die Anwendbarkeit dieses Gerätes ist ein ferromagnetischer Anstrichuntergrund. Die auf das Meßobjekt aufzusetzende Sonde stellt eine offene magnetinduktive Spule dar. Durch Veränderung des Abstandes der halbkugelförmigen Sondenspitze von dem ferromagnetischen Untergrund ändert sich der induktive Widerstand der Meßspule der Sonde. Diese Widerstandsänderungen werden auf der Skala des Meßgerätes, nach entsprechender Eichung, als Abstand der Sondenspitze vom ferromagnetischen Grundmaterial, also als Schichtdicke, ablesbar. Das Meßgerät besitzt vier Meßbereiche (0 - 50 μ , 30 - 350 μ , 250 - 3000 μ , 2 - 20 mm), die Meßgenauigkeit beträgt ± 5 % vom Meßwert.

Mit diesem Gerät ließen sich daher die Schichtdicken der Anstriche bzw. deren vorschriftsmäßiger Aufbau während der Beschichtung sehr gut kontrollieren. Bei der Messung, besonders bei noch nicht vollständig durchgetrockneten Be-

schichtungen, darf die Sonde nicht zu stark auf den Anstrich gedrückt werden, da sonst durch den Eindruck das Meßergebnis verfälscht werden kann. Alle Meßreihen der hier beschriebenen Untersuchungen wurden mit der sog. einpoligen Sonde durchgeführt, die die Schichtdicke an der Meßstelle unmittelbar angibt. Das Gerät mit Sonde zeigt die Abb. 1

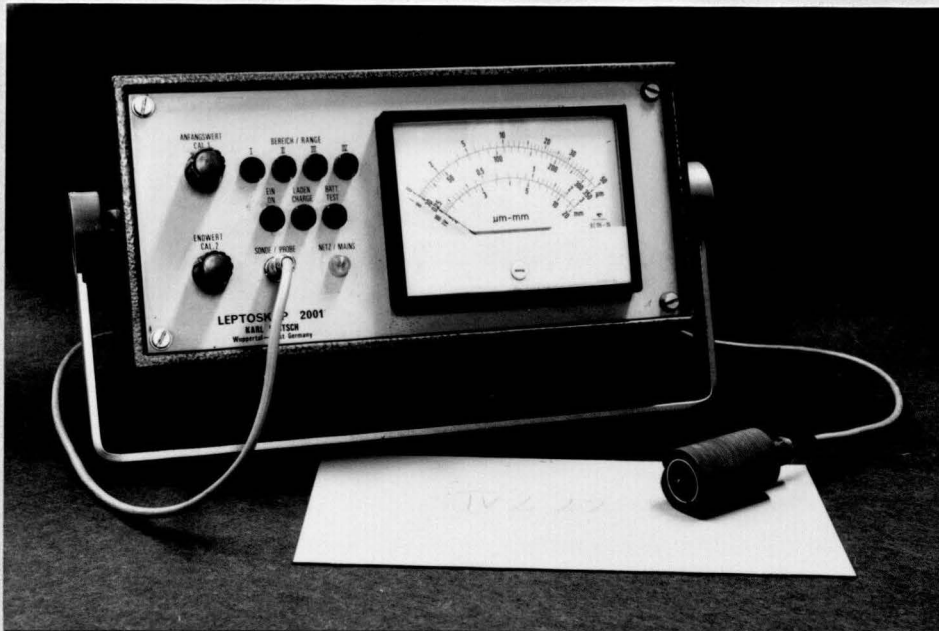


Abb. 1 Magnet-Induktives Schichtdickenmeßgerät.

Das Gerät diente außerdem dazu, während und nach Zeittrafferprüfungen sowie während und nach Langzeitauslagerversuchen unter Dach oder im Freien Veränderungen der Schichtdicke, hervorgerufen beispielsweise durch Auswaschen löslicher Bestandteile, festzustellen.

3.2 Schaukel-Härteprüfer nach Zeidler

Dieses Gerät ist in der Art eines kleinen "Rhönrades" aufgebaut. Es wird auf den Anstrich gestellt und in Schwingungen versetzt. Je nach der Härte des Anstriches wird diese Schaukelbewegung mehr oder weniger stark gedämpft. Als Maßzahl für die Härte wird die Zeit in Sekunden angegeben, in der die Schaukelamplitude (Schwingungsweite) von einer vorgegebenen Maximalamplitude auf eine wesentlich kleinere, am Gerät ablesbare Amplitude abfällt. Zur Messung wird daher zusätzlich eine Stoppuhr benötigt.

Voraussetzung für reproduzierbare Messungen sind ebene, glatte und staubfreie Oberflächen.

Mit dem Schaukelhärteprüfer werden keine absoluten "Härtegrade" ermittelt. Das Gerät gestattet es aber, relative Härteveränderungen einer Beschichtung nachzuweisen. Das für die Untersuchungen verwendete Gerät zeigt Abb. 2.

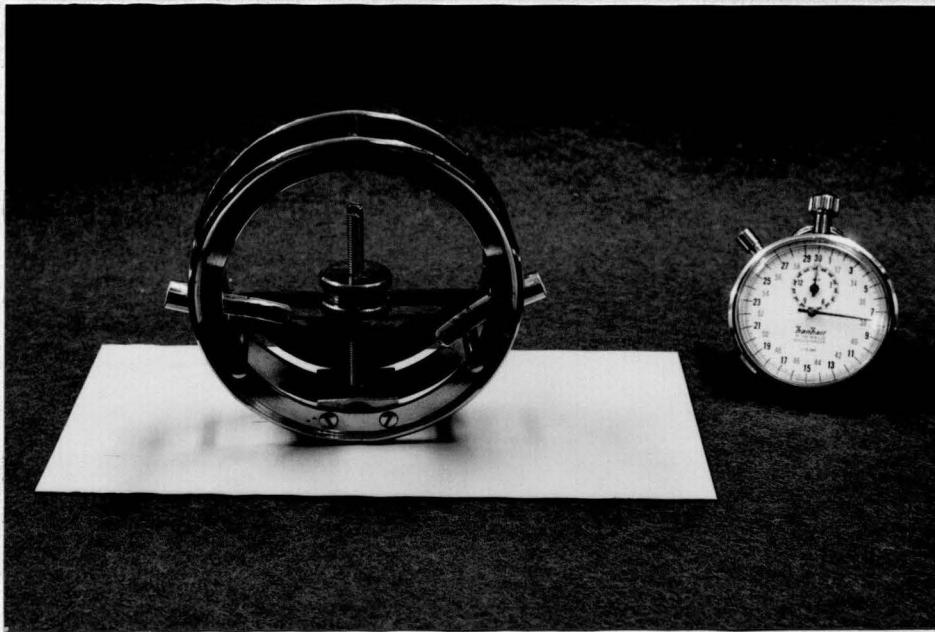


Abb. 2 Schaukelhärteprüfer nach Zeidler.

3.3 Härteprüfung mit dem Kreismesser

Die Härteprüfung mit dem Kreismesser nach Buchholz ist in DIN 53 153 ausführlich beschrieben. Das Gerät zeigt die Abb. 3. Das Kreismesser ist ein Eindringkörper von 30 mm Durchmesser und einem Schneidewinkel von 120° .

Dieses Kreismesser wird vorsichtig auf den Anstrich aufgesetzt und 30 s lang mit 500 p belastet. Danach wird das Messer abgehoben und die Länge des auf der Anstrichoberfläche zurückgebliebenen Eindrucks mit einem Meßmikroskop ($v \sim 20x$) ausgemessen.

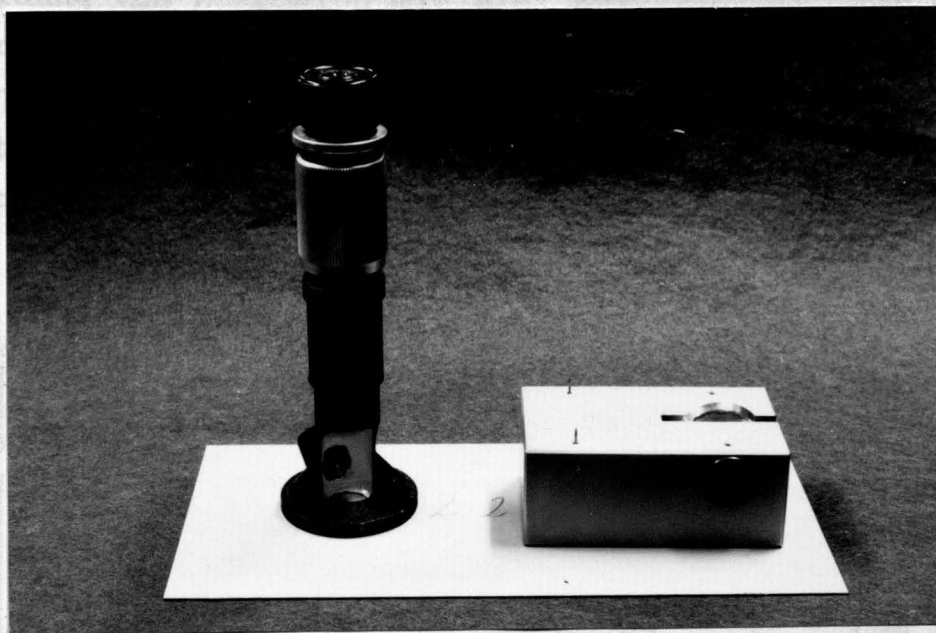


Abb. 3 Eindringhärteprüfer nach DIN 53 153.

Auch mit diesem Gerät werden, wie bei der Härteschaukel, keine absoluten Härtegrade, sondern zeitliche Veränderungen der Härte bestimmt. Sowohl bei der Schaukelhärteprüfung wie auch bei der Eindringhärteprüfung spielt die Temperatur eine nicht zu vernachlässigende Rolle. Alle derartigen Messungen wurden daher in einem Klimaraum nach entsprechender Vorlagerung bei 20°C durchgeführt.

3.4 Die Kesternichprüfung

Das Kesternichgerät (auch Testor-Gerät) wurde etwa 1950 von U. Kesternich in Anlehnung an das von E. Herzog vorgeschlagene Schwitzwasserprüfgerät entwickelt [59]. Zusätzlich zur reinen Schwitzwasserprüfung ist in dem Kesternichgerät eine Beanspruchung mit aggressiven Gasen (SO_2 , CO_2 , NH_3 usw.) möglich. Das Gerät entstand aus dem Bestreben heraus, die korrosive Wirkung des Industrieklimas im Laborversuch nachzuvollziehen. 1963 wurde die Kesternichprüfung in der DIN 50018 als Prüfstandard für eine Beanspruchung im Schwitzwasserklima mit SO_2 -haltiger Atmosphäre festgelegt.

Der Geräteaufbau wird genauestens in der DIN 50018 beschrieben, der nähere Einzelheiten entnommen werden können. Zur Erläuterung dient Abb. 4. Das Gerät ist innen zur Vermeidung von Korrosion mit Blei ausgekleidet, zur Beobachtung der Probekörper sind in den Wänden abgedichtete Glasfenster eingesetzt. Die Temperatur läßt sich oberhalb der Raumtemperatur thermostatisch regeln. Abb. 5 zeigt das geöffnete Gerät mit eingestellten Probekörpern.

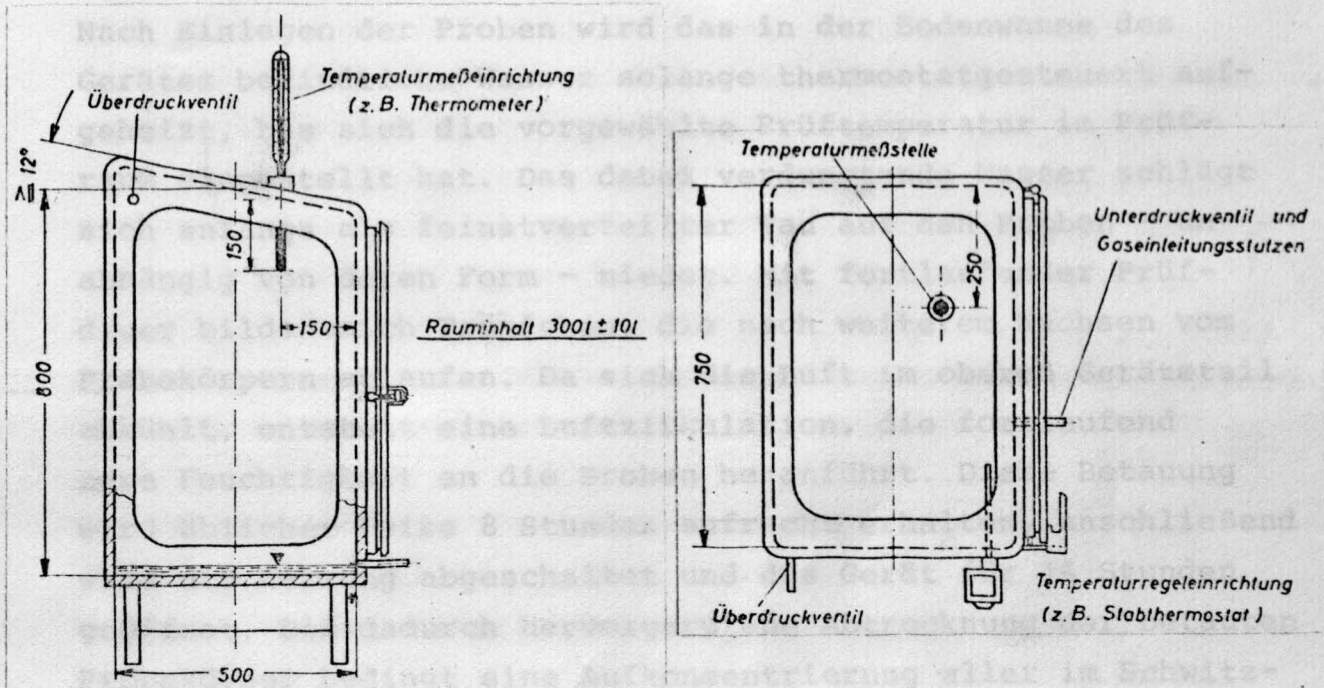


Abb. 4 Kesternichgerät nach DIN 50 017 und 50 018 (schematisch).

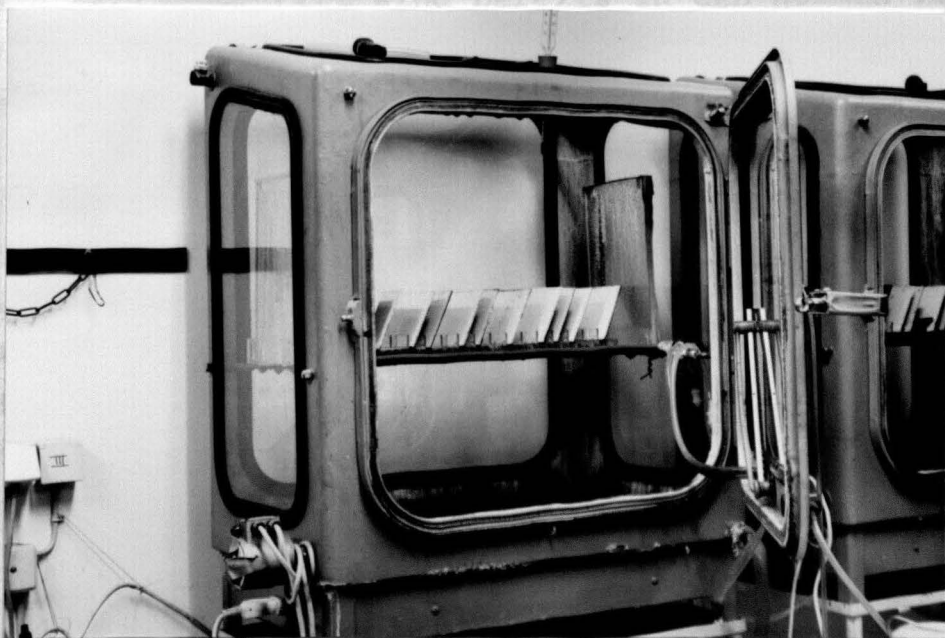


Abb. 5 Kesternichgerät (geöffnet) mit eingelagerten Probekörpern.

Die einstellbaren Klimate setzen sich aus den Klimafaktoren Luftfeuchte (100 %), Wärme, Temperaturwechsel und "Rauchgas"-Beanspruchung zusammen. Im allgemeinen wird man nach den Vorschriften der DIN 50017 oder 50018 prüfen, um untereinander vergleichbare Ergebnisse zu erhalten.

Eine Prüfung im Kesternich-Gerät hat etwa folgenden Verlauf:

Nach Einlegen der Proben wird das in der Bodenwanne des Gerätes befindliche Wasser solange thermostatgesteuert aufgeheizt, bis sich die vorgewählte Prüftemperatur im Prüfraum eingestellt hat. Das dabei verdunstende Wasser schlägt sich anfangs als feinstverteilter Tau auf den Proben - unabhängig von deren Form - nieder. Mit fortlaufender Prüfdauer bilden sich Tröpfchen, die nach weiterem Wachsen vom Probekörpern ablaufen. Da sich die Luft im oberen Geräteteil abkühlt, entsteht eine Luftzirkulation, die fortlaufend neue Feuchtigkeit an die Proben heranzuführt. Diese Betauung wird üblicher Weise 8 Stunden aufrecht erhalten, anschließend wird die Heizung abgeschaltet und das Gerät für 16 Stunden geöffnet. Die dadurch hervorgerufene Abtrocknung der betauten Probekörper bedingt eine Aufkonzentrierung aller im Schweißwasser gelösten aggressiven Bestandteile der Prüfatmosfera, was einen sehr wesentlichen und auch praxisnahen, korrosiven Angriff zur Folge hat. Eine Prüfzeit von $8 + 16 = 24$ Stunden wird ein Zyklus (auch Runde) genannt. Abweichungen von dieser Prüfvorschrift sind bereits in den Normen vorgesehen, weitere begründete Änderungen sind für spezielle Prüfzwecke immer möglich und vertretbar.

Bei einer Prüfung mit einem Zusatz von aggressiven Gasen - beispielsweise SO_2 - wird der Gasballast sofort bei Zyklusbeginn eingeblasen. Aufgrund der großen Wasserlöslichkeit der in Frage kommenden Gase (1 l Wasser löst bei 20°C : 40 l SO_2 bzw. 0,9 l CO_2 bzw. 700 l NH_3) werden diese sehr schnell durch den Wasserkreislauf im Prüfgerät ausgewaschen. Daher ist auch eine Beanspruchung mit 2 l SO_2 - oder auch mit 0,2 l SO_2 - auf 300 l Rauminhalt des Gerätes nicht so

hart, wie sie auf den ersten Blick erscheinen mag. (2 l SO₂ auf 300 l Prüfvolumen entsprechen einem SO₂-Gehalt von 6700 ppm; dieser Gasballast wird etwa in 5 - 6 Stunden auf einen Wert unter 1 ppm ausgewaschen. Im Vergleich dazu: Spitzenwerte im Industrieklima sind SO₂-Gehalte von 0,5 - 2 ppm, Dauerbelastungen liegen etwa bei 0,1 ppm).

Der Beanspruchungsgrad einer Prüfung im Kesternichgerät läßt sich nahezu beliebig variieren. Er hängt sowohl von der Zahl der Prüfrunden und der Temperatur als auch von dem eingestellten Prüfklima ab, dessen korrosiver Angriff sich - ausgehend von der reinen Schwitzwasserbeanspruchung bis zur stärksten Beaufschlagung mit sauren oder alkalischen Gasen - steigern läßt. Der oft erhobene Vorwurf, Prüfungen mit dem Kesternichgerät entsprächen nicht der Praxis, dürfte daher in den meisten Fällen auf einem nicht den tatsächlichen Erfordernissen angepaßten Prüfklima beruhen.

Bei den hier durchgeführten Untersuchungen wurden sowohl Prüfungen nach DIN 50017 (Schwitzwasserwechselprüfung und Schwitzwasserkonstantprüfung) als auch nach DIN 50018 durchgeführt. Bei den Untersuchungen nach DIN 50018 wurden als "Industriegase" SO₂ und NH₃ zugeführt, die Versuche wurden auch hier als Wechsel- und Dauerversuche gefahren.

3.5 Brandversuche mit dem Gegenheizgerät

Alle Brandversuche zur Beurteilung des Wärmedämm- und Schaumbildungsvermögens wurden in einem Kleinbrandhaus mit einem sogenannten Gegenheizgerät durchgeführt. Während bei den üblichen Zulassungsversuchen die Probetafeln senkrecht stehen, wurden in der Versuchsanordnung für dieses Forschungsvorhaben die beschichteten Tafeln in die Decke des Brandhauses eingebaut, so daß hier die Haftung des Anstrichs bei der hängenden Anordnung stärker beansprucht wurde. Der Temperaturverlauf im Brandhaus folgte der Einheitstemperaturkurve nach DIN 4102, die Temperaturmessung erfolgte dabei in 10 cm Abstand von der Probetafeloberfläche. Durch eine Öffnung in der Brandhauswand konnten Veränderungen der Probenoberfläche bzw. die Schaumbildung beobachtet werden.

Mit dem Gegenheizgerät wird verhindert, daß ein Wärmefluß durch die Probetafel hindurch stattfindet. So wird gewährleistet, daß an der Probetafel die gleichen Verhältnisse im Hinblick auf den Wärmehaushalt herrschen, wie an einem allseitig beflamnten Bauteil (vgl. auch [3]). Zu diesem Zweck wird die Temperatur an der Probetafelrückseite mittels Thermoelementen gemessen und der Steuereinheit des Gegenheizgerätes zugeführt. Dieses Gerät sorgt nun dafür, daß eine unmittelbar hinter der Probetafelrückwand angebrachte Heizplatte die gleiche Oberflächentemperatur hat, wie die Rückwand der Probetafel. Damit ist ein nennenswerter Wärmefluß durch die Platte hindurch ausgeschlossen (vgl. Abb. 6).

Der Brandversuch wird im Normalfall abgebrochen, wenn die Temperatur auf der Probetafelrückseite 500°C erreicht hat. Mittels eines Registriergerätes werden die zeitlichen Verläufe der Brandhaustemperatur und der Temperatur der Probetafelrückseite aufgezeichnet.

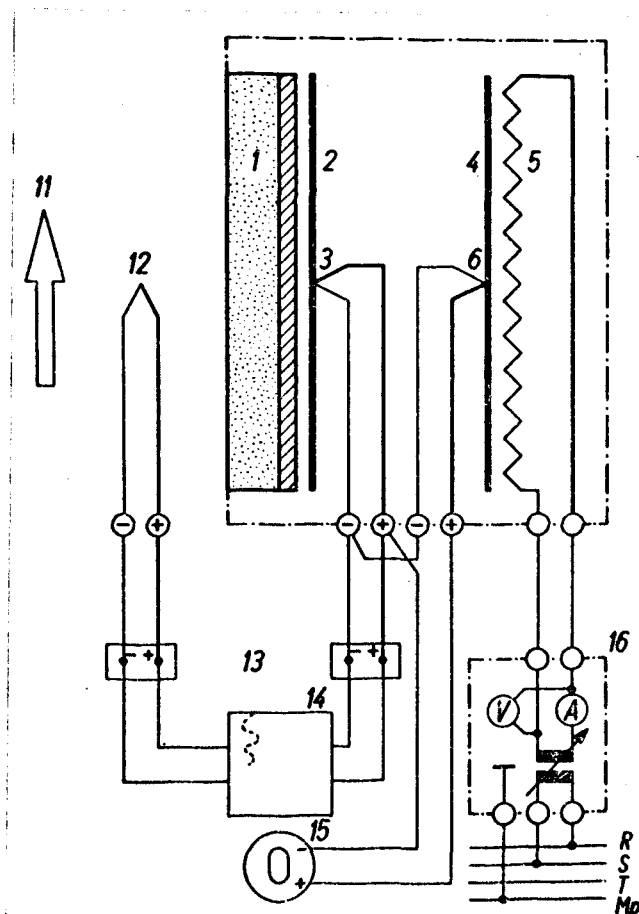


Abb. 6 Gegenheizgerät
(schematisch nach [3]).

- (1) Prüfstück, bestehend aus Isolierung und Stahlplatte
- (2) Frontplatte des Gegenheizgerätes
- (3) Mantelthermoelement zur Messung der Stahltemperatur
- (4) Gegenheizplatte
- (5) Heizwicklung
- (6) Mantelthermoelement zur Messung der Gegenheiztemperatur
- (11) Beflammungsrichtung im Prüfstand
- (12) Thermoelement zur Messung der Brandraumtemperatur
- (13) Vergleichsstellen (0- C)
- (14) Kompensationspunktendrucker
- (15) elektronisches Nullgalvanometer
- (16) Stelltransformator mit galvanisch getrennten Wicklungen

4. Versuchsprobekörper

Bei den durchgeführten Untersuchungen waren Probekörper für sehr unterschiedliche Verwendungszwecke notwendig. Es war daher, schon allein aus wirtschaftlichen Überlegungen heraus, erforderlich, die Probekörper hinsichtlich ihrer Abmessungen und hinsichtlich der Beschichtungsträger zu variieren.

4.1 Probekörperabmessungen und -material

Für Auslagerversuche im Freien und unter Dach wurden Stahltafeln der Abmessungen 500 x 500 mm und 250 x 500 mm mit einer Dicke von jeweils 5 mm verwendet. Die 500 x 500 mm großen Tafeln ließen auch Brandversuche (Kleinbrandhaus mit Gegenheizgerät) zu. Die 250 x 500 mm großen Tafeln dienten allein für Messungen der zeitlichen Verläufe von Schichtdicke, Schaukelhärte und Eindringhärte sowie zur Beobachtung des Einflusses künstlich herbeigeführter, mechanischer Beschädigungen (Kreuzschnitte) der dämmschichtbildenden Brandschutzbeschichtung.

Für die Untersuchungen im Kesternichgerät wurden aus Gründen der Platz- und Gewichtsersparnis Blechtafeln von 200 x 100 mm Fläche und einer Dicke von 0,75 mm verwendet. Für Untersuchungen, bei denen lediglich die Feuchteaufnahme-fähigkeit und deren zeitlicher Verlauf an Brandschutzanstrichen ermittelt werden sollten, wurden 1 mm dicke Glas-tafeln der Abmessungen 250 x 250 mm verwendet.

4.2 Beschichtungsaufbau

Alle metallischen Anstrichträger wurden vor der Beschichtung allseitig metallisch blank gesandstrahlt. Danach wurden die Tafeln allseitig mit der jeweiligen Rostschutzgrundierung gestrichen. Die aufgetragenen Mengen richteten sich dabei nach den Angaben der jeweiligen Hersteller. Die Auftragsmenge wurde durch Auswiegen der Probekörper vor und unmittelbar nach einem Farbauftrag ermittelt. Nach gründlicher Durchtrocknung erfolgte außerdem eine Bestimmung

Material	Grundierung	1. Dämmschicht- bildner	2. Dämmschicht- bildner	Decklack	Gesamt- schichtdicke
I.1	200 g/m ²	650 g/m ²	650 g/m ²	200 g/m ²	830 µ
A.2	200 g/m ²	1000 g/m ²	1000 g/m ²	300 g/m ²	960 µ
I.3	150-200 g/m ²	1000 g/m ²	1000 g/m ²	deckend	1480 µ
I,A.4	200 g/m ²	1000 g/m ²	1000 g/m ²	200-250 g/m ²	990 µ
I.5	200 g/m ²	650 g/m ²	650 g/m ²	200 g/m ²	800 µ
I.6	2x Streichen	800 g/m ²	800 g/m ²	2x Streichen	820 µ
I.7	150-200 g/m ²	1000 g/m ²	1000 g/m ²	50- 70 g/m ²	1020 µ

Tabelle 1 Beschichtungsmengen (naß) der einzelnen Anstrichsysteme nach Angaben der Hersteller. I = Innenanstrich, A = Außenanstrich, das System I,A wurde vom Hersteller später nur noch als I-system bezeichnet. Die Gesamtschichtdicke (Mittelwert aus 16 Einzelmessungen an je 8 Tafeln) wurde nach den Beschichtungen im Labor gemessen.

der mittleren Schichtdicke mit dem Leptoskop. Der nachfolgende Auftrag von dämmschichtbildender Brandschutzfarbe (in zwei Beschichtungsgängen) sowie die abschließende Beschichtung mit Decklack erfolgte nur auf einer Seite der Probekörpertafeln. Die aufgetragenen Mengen und die Schichtdicken wurden - wie vorher beschrieben - ebenfalls ermittelt.

Die Beschichtung der Tafeln erfolgte grundsätzlich mit dem Ringpinsel, dabei lagen die Tafeln waagrecht. Eine Übersicht über die jeweiligen Beschichtungsmengen aller im Forschungsvorhaben verwendeten dämmschichtbildenden Brandschutzsysteme (nach Angaben der Hersteller) und die nach dem Beschichten gemessene, mittlere Gesamtschichtdicke gibt die Tabelle 1. Die Anstrichsysteme sind mit A für "außen" und I für "innen" bezeichnet, da die einzelnen Hersteller hier nicht genannt werden sollen.

5. Versuchsprobekörper-Bewitterung

Die in Abschnitt 4 beschriebenen Versuchsprobekörper wurden natürlichen und künstlichen Klimaten ausgesetzt.

5.1 Natürliche Bewitterung

Die Freibewitterung ausgelagerter Probeplatten erfolgte auf einem Prüfstand, der auf einem Garagendach, ca. 2,7 m über dem Erdboden, eingerichtet war. Die Platten waren unter 45° gegen die Horizontale geneigt und nach Süden ausgerichtet. Auf den Rückseiten je einer Platte aller ausgelagerten Anstrichsysteme waren Thermoelemente befestigt, die die Temperaturen der Platten einem Registriergerät zuführten. Auf dem Prüfstand wurden außerdem die Lufttemperatur, die Luftfeuchte und die tägliche Regenmenge gemessen.

Die Befestigung der Versuchsplatten auf den Auslagerungsgestellen erfolgte so, daß ablaufendes oder abtropfendes Wasser von den Gestellen oder von sonstigen baulichen Gegebenheiten die Plattenoberflächen nicht erreichen konnte. Eine Ansicht des Freibewitterungsprüfstandes zeigt Abb. 7.



Abb. 7 Gesamtansicht des
Freibewitterungsprüfstandes.

Ein zweiter Bewitterungsstand war in einer gut belüfteten Garage unterhalb des Freibewitterungsprüfstandes eingerichtet. Hier konnte das Klima hinsichtlich Temperatur und Luftfeuchte, wenn auch mit zeitlicher Verzögerung und ggf. abgeschwächt, dem Außenklima folgen, ohne daß die Platten jedoch durch Regen oder Sonnenlicht beansprucht werden konnten.

5.2 Künstliche Bewitterung

Die künstliche Bewitterung erfolgte an den 200 x 100 mm großen Probekörpern im Labor. Temperatur-, Feuchte- und Aggressivgasbeanspruchungen wurden im Kesternichgerät durchgeführt, Temperaturwechsel unter 0°C in einer Tiefkühltruhe. Die einzelnen Klimata bzw. Klimazyklen werden bei der Beschreibung der Ergebnisse näher erläutert.

6. Auswahl und Beurteilung von Klimafaktoren für Labor- kurzzeitversuche

6.1 Ermittlung von aggressiven Bestandteilen der Luft

Für Kurzzeitlelaborversuche zur Bestimmung der Alterungsbeständigkeit dämmschichtbildender Brandschutzanstriche für die Anwendung im Freien ist es erforderlich, auch die Belastung der Anstriche durch aggressive Bestandteile der Luft zu kennen. Im Laborversuch kann dann diese Belastung z.B. durch Zugabe erhöhter Konzentrationen von Aggressivgasen zur Prüfatmosphäre nachvollzogen werden. Belastungen durch Aggressivgase sind aber auch für Innenanstriche nicht auszuschließen, da diese auch in überdachten, aber der Außenluft zugänglichen Bauwerken (z.B. offene Hallen) angewendet werden dürfen.

Die experimentelle Ermittlung derartiger Aggressivgaskonzentrationen der Außenluft an verschiedenen Orten Deutschlands überstieg sowohl die apparativen Möglichkeiten der Forschungsstelle als auch den finanziellen Rahmen des Forschungsvorhabens. Die nötigen Daten wurden daher aus einer Literatursichtung [82-112] zu Beginn der Forschungsarbeit gewonnen und sind in Tabelle 2 dargestellt.

Wie die Tabelle zeigt, ist die Steigerung gegenüber der Normalluft bei SO_2 am größten (bis zu 2000-fach). Da diese Luftverunreinigung nahezu bei jeder Verbrennung (Kohle, Öl usw.) entsteht, ist sie besonders verbreitet. Die übrigen aggressiven Gase besitzen nicht diese allgemeine Verbreitung. Eine Ausnahme davon macht die Kohlensäure, die bereits mit ca. 300 ppm in der Normalluft enthalten ist. Der Spitzenwert ist mit 900 ppm nur dreimal so groß, so daß insgesamt keine Veranlassung besteht, CO_2 für eine Aggressivgasbeanspruchung auszuwählen. Ausgewählt wurde SO_2 , das in Wasser gelöst auf den Probekörpern einen "sauren Angriff" darstellt. Um eine grundsätzliche Anfälligkeit der Anstrichsysteme auch gegenüber "basischem

Angriff" erkennbar zu machen, wurde als weiteres Aggressivgas auch NH_3 herangezogen.

Luftverunreinigung	Normal-luft [ppm]	Stadt-/Industrie-luft [ppm]	Spitzenwerte [ppm]
H_2S	0,001	0,001 - 0,01	0,1
NO_2	0,001	0,03	0,1
SO_2	0,001	0,05 - 0,1	0,5 - 2
CO_2	300	350 - 600	900
CO	2 - 3	10 - 30	100
NH_3	-	0,06	0,5
Cl_2	-	0,01	0,03
HCl	-	0,001 - 0,01	0,08
O_3	0,007	0,01 - 0,02	0,06
HCOOH	-	0,005	-

Tabelle 2 Luftverunreinigungen in ppm (parts per million).
Die Angaben der Tabelle sind aus den Zitaten [82-112] zusammengestellt. Ein Strich in der Tabelle bedeutet: Es lagen noch keine Angaben vor.

Die Auswahl dieser beiden Gase ermöglichte zudem eine problemlose Anwendung des Kesternichgerätes, das bereits eine Klimabeanspruchung mit SO_2 vorsieht. Die gleiche Zusatzeinrichtung kann aber auch benutzt werden, um den Prüfraum mit entsprechend gewählten NH_3 -Zusätzen zu beaufschlagen.

6.2 Temperaturen und Temperaturwechsel im Außenklima

Für die Beurteilung und Planung von Laborkurzzeitversuchen zur Ermittlung der Alterungsbeständigkeit dämmschichtbildender Brandschutzsysteme ist es erforderlich, neben detaillierten Angaben über die Luftverunreinigungen auch

Informationen über klimabedingte Temperaturverläufe und vor allem über Temperaturwechsel einschließlich Frost-Tau-Wechsel zu besitzen. Derartige Informationen konnten aus den Temperaturschrieben der Temperaturverläufe an den Rückseiten der im Freien gelagerten Probeplatten gewonnen werden. Wie bereits in Abschnitt 5.1 näher erläutert wurde, war innerhalb jeder Prüfplattenserie eines Anstrichsystems auf der Rückseite jeweils einer Probeplatte ein Thermo-element befestigt, über das mittels eines Zwölfpunktdruckers die Temperaturen an der Plattenrückseite fortlaufend aufgeschrieben wurde. Über ein weiteres Thermoelement wurde zusätzlich auch die Lufttemperatur aufgezeichnet.

Die Abb. 8 - 10 zeigen stellvertretend drei typische Temperaturverläufe eines wolkenlosen Sonnentages, eines teilweise bewölkten Sonnentages und eines Tages mit ganztägig, dichter Wolkendecke.

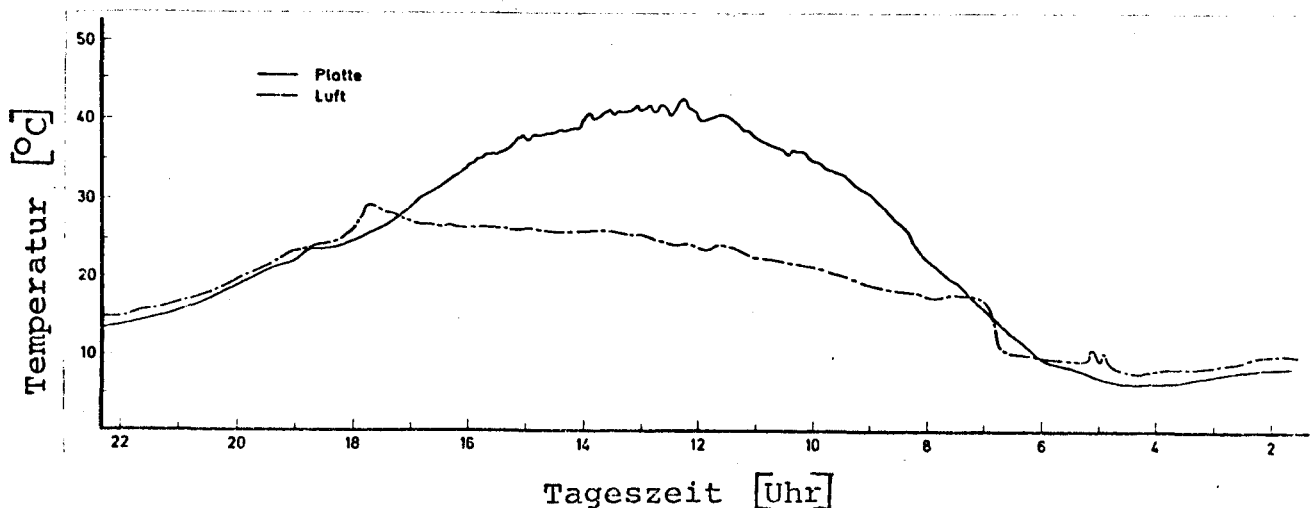


Abb. 8 Temperaturverlauf an der Rückseite einer ausgelagerten Probeplatte im Vergleich zur Lufttemperatur an einem wolkenlosen Tag.

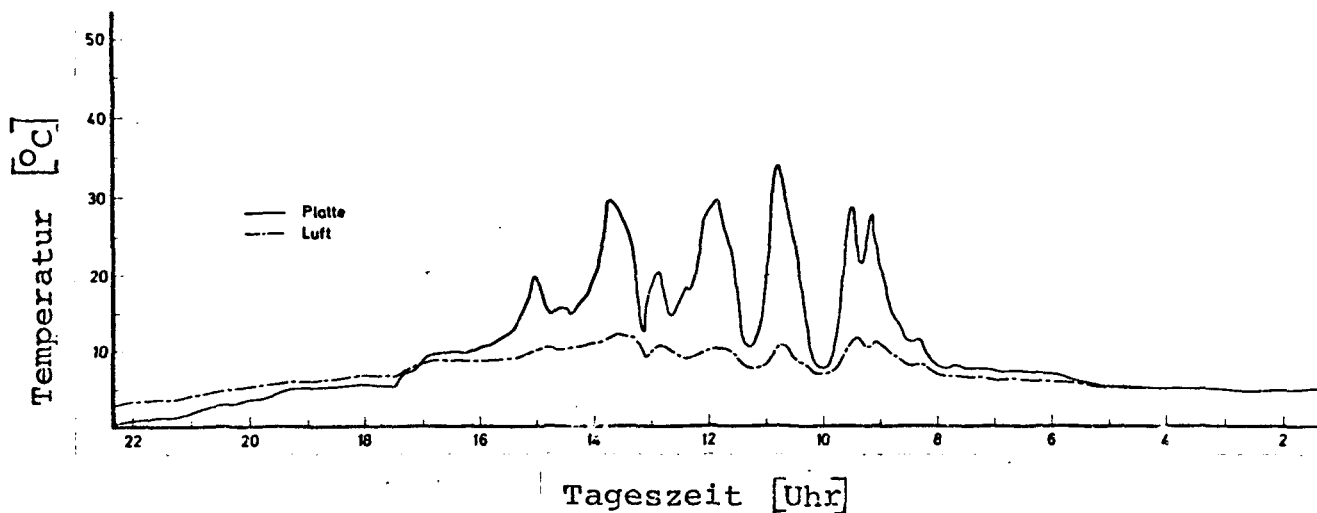


Abb. 9 Temperaturverlauf an der Rückseite einer ausgelagerten Probeplatte im Vergleich zur Lufttemperatur an einem Tag mit wechselnder Bewölkung.

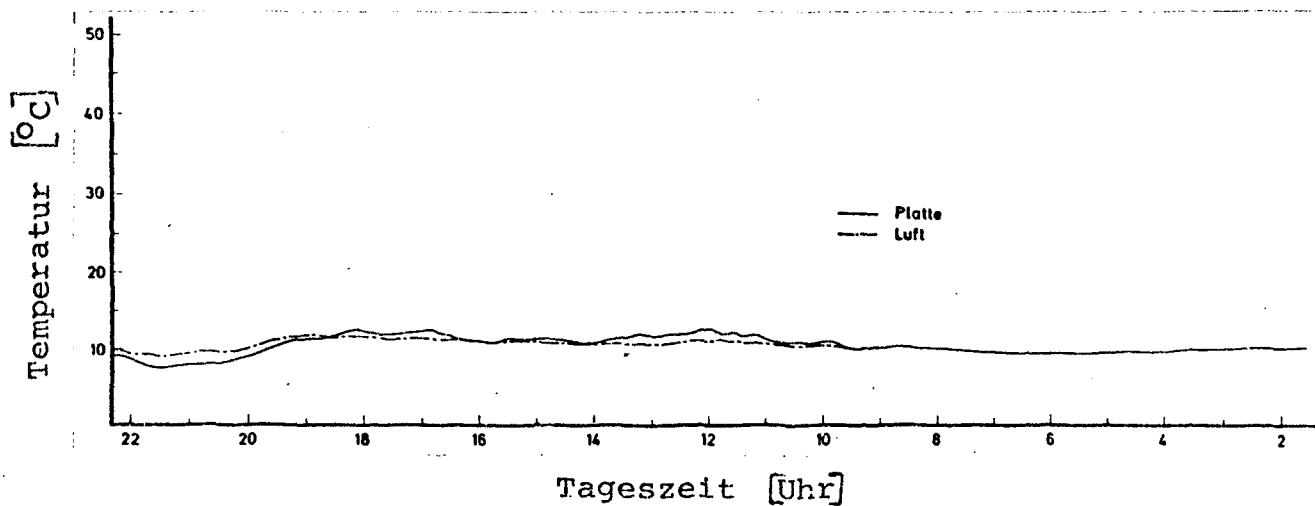


Abb. 10 Temperaturverlauf an der Rückseite einer ausgelagerten Probeplatte im Vergleich zur Lufttemperatur an einem Tag mit geschlossener Wolkendecke.

Aus den Abbildungen wird ersichtlich, daß im Hinblick auf eine Temperaturwechselbeanspruchung, der teilweise bewölkte Sonnentag eine wesentlich schärfere Beanspruchung darstellt, als ein vollständig sonniger Tag. Zusätzlich ist deutlich zu erkennen, daß aus einer Messung der Lufttemperatur allein keine brauchbaren Daten für eine wirklichkeitsnahe Laborprüfung zu gewinnen sind: Die Lufttemperaturen liegen erstens tiefer als die Temperaturen der Probekörper (je nach Einfärbung des Decklacks bis zu 30°C), zweitens gibt die Lufttemperatur keine Auskünfte über die aufgrund kurzfristiger Veränderungen der Sonneneinstrahlung an Bauwerken oder Bauteilen auftretenden Temperaturwechsel. Die Auswertung von Klimaprotokollen einer Wetterstation im Hinblick auf die Festlegung von Temperaturbeanspruchungen eines Laborkurzzeitversuches zur Beurteilung der Alterungsbeständigkeit eines Anstrichsystems ist daher allein sicher nicht ausreichend.

In der hier vorgelegten Forschungsarbeit wurden daher die Protokolle des Temperaturschreibers über einen Beobachtungszeitraum von 2 Jahren im Hinblick auf

- a) Maximaltemperaturen
- b) Temperaturwechsel unterschiedlicher Größe
- c) Frost-Tauwechsel

ausgewertet. Daraus ergaben sich folgende Ergebnisse:

- a1) höchste Plattentemperatur: 58°C
- a2) niedrigste Plattentemperatur: -25°C
- a3) höchste Lufttemperatur: 37°C
- a4) niedrigste Lufttemperatur: -20°C
- a5) größte Differenz zwischen Luft- und Plattentemperatur: 28°C

- b1) Zahl der Temperaturwechsel/Jahr an den Platten mit $5^{\circ} < \Delta T < 10^{\circ}\text{C}$: 690
 - b2) Zahl der Temperaturwechsel/Jahr an den Platten mit $\Delta T > 10^{\circ}\text{C}$: 225
 - b3) Zahl der Temperaturwechsel/Jahr der Luft mit $5^{\circ} < \Delta T < 10^{\circ}\text{C}$: 190
 - b4) Zahl der Temperaturwechsel/Jahr der Luft mit $\Delta T > 10^{\circ}\text{C}$: 120
- c) Zahl der Frost-Tau-Wechsel/Jahr: 105

Ein Vergleich der Werte von a und b zeigt deutlich, daß die Beobachtung der Lufttemperatur allein keine Aussage über die tatsächliche Temperaturbeanspruchung eines Anstriches ermöglicht. Eine eingehende Diskussion dieser Ergebnisse hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Planung eines Laborkurzzeitversuches zur Ermittlung der Alterungsbeständigkeit von dämmschichtbildenden Brandschutzanstrichsystemen für eine Außenanwendung erfolgt in Abschnitt 6.4.

6.3 Aufnahme und Abgabe von Feuchtigkeit

Wie bereits in Abschnitt 2 erläutert und in Abschnitt 4.2 durch entsprechende Messungen aufgezeigt wurde, liegt die Schichtdicke von vollständigen dämmschichtbildenden Brandschutzsystemen zwischen ca. 800 μ und 1500 μ . Es handelt sich dementsprechend schon um Dickbeschichtungen. Die Sättigung dieser Anstriche mit Feuchtigkeit wird daher vergleichsweise lange Zeit in Anspruch nehmen. Diese Zeit steht dem Anstrich bei einer Freibewitterung natürlich zur Verfügung, so daß sich die Beschichtung im Freien mit Feuchtigkeit sättigen kann. Diese Sättigung wird mit größter Wahrscheinlichkeit in den feuchten Jahreszeiten (Frühjahr, Herbst) am häufigsten erreicht. Neben dem mit Feuchtigkeitsaufnahme und -abgabe verbundenen Quellen und Schwinden stellt auch das Frosten einer Dickbeschichtung, deren Porensystem mit Wasser gefüllt ist, eine zusätzliche, erhebliche Beanspruchung dar.

Um Schwind- und Quellvorgänge sowie die Beanspruchung eines mit Feuchtigkeit gesättigten Anstriches durch Frost auch im Zeitraffer-Labortest weitestgehend den Realitäten anzugleichen, müssen die für eine vollständige Feuchtheitsaufnahme und auch -abgabe erforderlichen Zeiten bekannt sein.

In Vorversuchen wurden daher mit den verschiedenen dämmschichtbildenden Brandschutzanstrichen beschichtete Glasplatten im Kesternichgerät einer Dauer-Tauwasserbeaufschlagung ausgesetzt. Die Sättigung wurde durch regelmäßige Gewichtskontrollen festgestellt. Dabei ergab sich, daß dämmschichtbildende Brandschutzanstriche etwa 24 h und länger einer Schwitzwasserbeanspruchung SK nach DIN 50 017 ausgesetzt sein müssen, ehe nennenswerte Wassermengen, bezogen auf die vollständige Sättigung, aufgenommen werden. Die Austrocknung verläuft etwa in gleichen Zeiträumen, sofern die Temperatur nicht erhöht wird.

Bei vielen Anstrichen wurde das Abtropfen gelöster Bestandteile aus dem Anstrichsystem beobachtet. Die dabei auftretenden Gewichtsverluste (bis zu 20 %) waren - bezogen auf die ursprüngliche Auftragsmenge - nicht unerheblich und können ebenfalls als eine Beurteilungsgröße für die Alterungsbeständigkeit herangezogen werden. Die Gewichtszu- und -abnahmen bei einer Feuchtebeanspruchung nach SK-DIN 50 017 mit anschließender Trockenperiode zeigt Abb. 11.

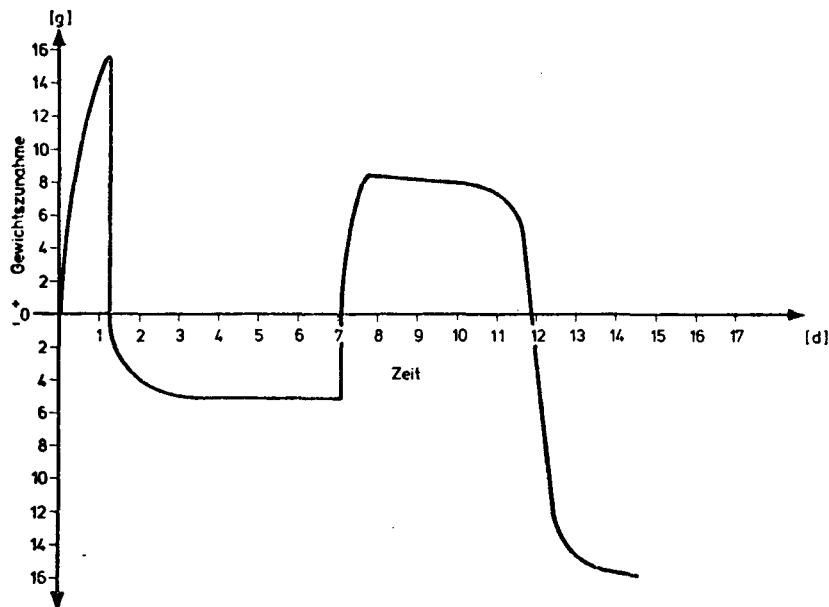


Abb. 11 Gewichtszunahme infolge Durchfeuchtung und Gewichtsabnahme infolge Auswaschens löslicher Salze bei einer Beanspruchung nach SK-DIN 50 017 mit zwischengeschalteten Trockenperioden (2-7 Tage und ab 13. Tag).

6.4 Kurzzeitalterungsprüfung für Brandschutzaußenanstriche

Die Formulierung eines Kurzzeitversuches für eine neue Art von Anstrichsystemen zur Beurteilung der Alterungsbeständigkeit ist immer problematisch, vor allem dann, wenn die Erfahrungen hinsichtlich der Beständigkeit derartiger Anstriche noch gering sind. So bleibt zunächst nur der Weg, bewährte Kurzzeitprüfungen von anderen Anstrichmaterialien zu übernehmen (z.B. [41-80]), in der Hoffnung, sie führen zu richtigen Beurteilungen. Dieser Weg ist speziell bei den dämmschichtbildenden Brandschutzanstrichen kaum gangbar, denn neben einer optischen Verschönerung und der Gewährleistung eines hinreichenden Korrosionsschutzes haben diese Anstriche ja noch die ganz wesentliche Aufgabe, das betreffende Stahlbauteil oder -bauwerk im Brandfall durch eine sich bildende, ausreichend dicke und am Bauteil haftende Wärmedämmschicht zu schützen. Nach einer Kurzzeitprüfung folgt daher beim dämmschichtbildenden Brandschutzanstrich noch der Brandversuch im Kleinbrandhaus mit Gegenheizgerät.

Bei der Entwicklung eines Zeittrafferversuches für Zulassungsprüfungen an dämmschichtbildenden Brandschutzbeschichtungen hat man insofern einen Kompromiß schließen müssen, in dem man bewährte Elemente aus verschiedenen Kurzzeitprüfverfahren - unter Berücksichtigung der bisher nur spärlich vorhandenen Erfahrungen mit Dämmschichtbildnern - miteinander koppelte und entsprechend variierte. Die aus diesen Überlegungen resultierende Kurzzeitprüfung ist in Tab. 2 wiedergegeben. Diese Kurzzeitprüfung ist in den Richtlinien für die Prüfung und Zulassung von dämmschichtbildenden Brandschutzbeschichtungen [1] (Fassung Sept. 1977) abgedruckt und daher bis auf weiteres für Zulassungsprüfungen verbindlich.

Unter Heranziehung der Erkenntnisse und Ergebnisse der Abschnitte 6.1, 6.2 und 6.3 muß an diesem Zeittrafferversuch bei folgenden Punkten Kritik einsetzen:

- a) Die Feuchteperioden, besonders vor dem Frosten der Probekörper sind zu kurz. Es muß davon ausgegangen werden, daß sich die Anstrichsysteme in der vorgegebenen Zeit nicht mit Feuchte sättigen können. Dazu wären wenigstens 24 Stunden erforderlich.
- b) Aufgrund der anzunehmenden, unvollständigen Feuchtaufnahme ist die nachfolgende Beanspruchung des Anstriches durch Frosten nicht so scharf, wie in der natürlichen Freibewitterung.
- c) Die Zahl der Temperaturwechsel ist mit insgesamt 48 in vier Wochen zu gering (vgl. die Ergebnisse von 6.2).
- d) Die Zahl von insgesamt nur 16 Einfrier- bzw. Auftauvorgängen ist gegenüber den tatsächlichen Verhältnissen ebenfalls für eine Zeittrafferprüfung als zu gering anzusehen.

Wegen der gegenüber der Freibewitterung zu schwach ausgeprägten Klimabeanspruchungen ist zu befürchten, daß auch ein dämmschichtbildendes Brandschutzsystem für "innen" die Kurzzeitprüfung besteht, sofern nur als Decklack ein sehr witterungsbeständiger Anstrich gewählt wird. Diese Gefahr versucht die o.g. Richtlinie dadurch zu umgehen, daß bei der Verwendung von Deckanstrichen zusätzlich zwei weitere Platten ohne Deckanstrich der Kurzzeitprüfung unterworfen werden müssen.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus den vorstehend beschriebenen Abschnitten 6.1, 6.2 und 6.3 wird daher hier eine entsprechend modifizierte Form einer Kurzzeitprüfung vorgeschlagen, die sich in folgenden Punkten wesentlich von der in Tab. 2 dargestellten Kurzzeitprüfung unterscheidet.

- a) Die Feuchteperiode vor dem Frosten wurde von 16 auf 32 Stunden erhöht.
- b) Die Zahl der Temperaturwechsel wurde von 48 auf 440 erhöht.
- c) Die Zahl der Einfrier- und Auftauvorgänge wurde von 16 auf 64 erhöht.
- d) Die NH_3 -Beanspruchung wurde durch eine zusätzliche SO_2 -Begasung ersetzt.

Wenn auch die Zahl der Temperaturwechsel bei einer Freibewitterung pro Jahr noch wesentlich größer ist, so kann doch davon ausgegangen werden, daß im vorliegenden Test durch das gewählte, vergleichsweise große $\Delta T = 30^\circ\text{C}$ ein gewisser Ausgleich hinsichtlich der Gesamtbeanspruchung erreicht wird. Es ist auch anzunehmen, daß die Frosttauwechsel in ihren Auswirkungen auf die Alterungsbeständigkeit aufgrund der wesentlich verlängerten, vorgelagerten Be-
tauungsperiode den natürlichen Gegebenheiten besser

entsprechen. Die längeren Betauungsperioden sollten außerdem eine bessere Differenzierung zwischen feuchteempfindlichen (starkes Quellen, Auswaschen löslicher Bestandteile) und unempfindlichen Systemen ermöglichen. Die NH_3 -Begasung wurde in eine SO_2 -Begasung umgewandelt, da die Ergebnisse des nachfolgenden Abschnittes 8 keine auffälligen Einwirkungen von NH_3 auf die Brandschutzanstriche erbrachten. Verglichen mit den Ergebnissen von Abschnitt 6.2 erscheint eine Begasung mit 0,2 Liter SO_2 auf 300 Liter Prüfraumvolumen (entspricht 670 ppm) angemessen. Diese Gasmenge entspricht etwa dem 350-fachen der möglichen Spitzenwerte im Industrieklima. Der schnellen Abnahme der SO_2 -Beanspruchung durch die große Löslichkeit von SO_2 in Wasser wird durch die nochmalige Zugabe von 0,2 Liter SO_2 vier Stunden nach der ersten Begasung entgegengewirkt.

Diese geänderte Kurzzeitprüfung ist in Tabelle 3 dargestellt. Es wird bei einem Vergleich mit Tabelle 2 sofort ersichtlich, daß die Erhöhung der Temperaturwechsel durch das Einbeziehen der Wochenenden (Samstag, Sonntag) in das Prüfprogramm erreicht wurde. Das ist durchaus sinnvoll, da für die Kurzzeitprüfungen in jedem Fall ein programmierbarer Klimaprüfschrank erforderlich ist. Weitere Temperatur- und Frosttauschen wurden durch ein- bis zweistündige Temperaturwechsel in all den Perioden der Kurzzeitprüfung der Tabelle 2 erreicht, in denen über längere Zeiträume konstante Temperaturen aufrecht erhalten wurden. Diese zusätzlich eingeführten Wechsel sind sinnvoll und daher auch angebracht, da eine einmal erreichte Temperatur durch lange Konstanthaltung im Rahmen einer Kurzzeitprüfung am Probekörper keine weiteren Veränderungen mehr hervorruft.

Die Maximaltemperatur von $+70^\circ\text{C}$ und die Minimaltemperatur von -25°C wurden - Ergebnisse von 6.2 folgend - in der Kurzzeitprüfung der Tabelle 3 beibehalten. Ebenso die sehr wichtige Beanspruchung "Regen auf stark erwärmtem Anstrich".

Für die Durchführung dieser modifizierten Kurzzeitprüfung sind ein programmierbarer Klimaschrank sowie ein Kesternich-, ein Salzsprühgerät und eine Xenonlampe (6 kW; 0,75 m Abstand vom Prüfkörper) erforderlich. Jeweils montags bis freitags muß um 8 Uhr das neue Klimaprogramm für die folgenden 24 h eingegeben werden (z.B. Einlegen vorgefertigter Programmscheiben). Zusätzliche kurze Verweildauern von Bedienungspersonal erfordern die Begasung bzw. die Salzsprühprüfung am Donnerstag bzw. das Einlegen des Wochenendprogramms am Freitag um 16 Uhr. Diese Arbeitsgänge sind aber auch bei der ursprünglichen Kurzzeitprüfung erforderlich, so daß mit der hier vorgeschlagenen Prüfung bei gleichem Aufwand eine wesentlich größere Prüfungsleistung erbracht werden kann.

Uhrzeit																								
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Mo	Konstantklima 40/92 nach DIN 50 015							Normalklima 23/50-2 nach DIN 50 014							40°C, 100 % RF wie SK - DIN 50 017							Mo		
Di	40°C, 100 % RF wie SK - DIN 50 017							0°			Abkühlen auf -25°		-25°		Erwärmen auf +70°					60 % RF +70°		Di		
Mi	Abkühlen auf -25°				-25°			Xe- non +55°	+55° (DIN 50 013)			Xe- non +20°		Abkühlen auf +20°		40°C, 100 % RF wie SK - DIN 50 017					Mi			
Do	40°C, 100 % RF wie SK - DIN 50 017							40°C, 100 % RF ← Begasung*)					Begasung*)		+70°		+70° (DIN 50 013)					Do		
Fr	+70° (DIN 50 013)							Re- gen	Xen.	Re- gen		Xen.	Re- gen		Xen.	40°C, 92 % RF (DIN 50 015)					Fr			
Sa	←							Konstantklima 40/92 nach DIN 50 015							→							Sa		
So	←							Konstantklima 40/92 nach DIN 50 015							→							So		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

Tabelle 2 Zeitplan für eine Kurzzeitprüfung (4 Wochen) für dämmschichtbildende Brandschutzsysteme "außen" nach [1]
(Zur Zeit gültige Prüfvorschrift)

+) In der 1. und 4. Woche um 8 und 12 Uhr je 0,2 l SO₂, in der 2. Woche jeweils 0,2 l NH₃, in der 3. Woche von 8 - 15 Uhr Salzsäureprüfung SS nach DIN 50 021, danach abspülen.

Uhrzeit																									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Mo	RF = 100 % +30° +60° +30° +60° +30° +60° +30° +60°								RF = 100 % +50° +20° +50° +20° +50° +20° +50° +20°								RF = 100 % +50° +20° +50° +20° +50° +20° +50° +20°								Mo
Di	SK - DIN 50 017 (40°C / 100 % RF)								-25° +10°				-25° +10°				-25° +10°				-25° +10°				Di
Mi	-25° +70°								Xe- non +70° +40° +70°				Xe- non +40° +70° +40°				SK - DIN 50 017 (40°C / 100 % RF)								Mi
Do	SK - DIN 50 017 (40°C / 100 % RF)								40°C, 100 % RF ← 0,2 l SO2 ← 0,2 l SO2								-25° +10° -25° +10°								Do
Fr	-25° +70°								Re- gen. +40° +70°				Re- gen. +40° +70°				RF = 40 % +30° +60° +30° +60° +30° +60° +30° +60°								Fr
Sa	RF = 100 % +30° +60° +30° +60° +30° +60° +30° +60°								RF = 40 % +30° +60° +30° +60° +30° +60° +30° +60°								RF = 40 % +30° +60° +30° +60° +30° +60° +30° +60°								Sa
So	RF = 100 % +30° +60° +30° +60° +30° +60° +30° +60°								RF = 40 % +30° +60° +30° +60° +30° +60° +30° +60°								RF = 40 % +30° +60° +30° +60° +30° +60° +30° +60°								So
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

Tabelle 3 Zeitplan für eine Kurzzeitprüfung (4 Wochen) für dämmschichtbildende Brandschutzsysteme "außen".

In der ersten Woche von 0 - 8⁰⁰ Uhr: noch keine Beanspruchung (Lagerung im Normalklima).

In der dritten Woche von 8 - 16⁰⁰ Uhr: Salzsprühprüfung nach DIN 50 021, SS. Danach abspülen.

6.5 Kurzzeitalterungsprüfung für Brandschutzinnenanstriche
Nach [1] dürfen dämmschichtbildende Brandschutzanstriche für Innenanwendung nur dort eingesetzt werden, "wo die Bauteile vor unmittelbarem Witterungseinfluß geschützt sind". D. h., die Klimafaktoren Sonneneinstrahlung, Feuchtebeanspruchung durch Regen, besonders hohe Temperaturen und plötzliche Temperaturwechsel (Schocks) scheiden hier als Beanspruchungsgrößen aus. Die schärfste Beanspruchung eines Innenanstrichsystems sind daher bei einer Anwendung z.B. in einer offenen Halle die Temperaturwechsel infolge des täglichen Anstiegs bzw. Abfalls der Lufttemperatur und ggf. Feuchtigkeitsniederschläge durch Unterschreitung des Taupunktes. Im Inneren geschlossener Gebäude ist die Beanspruchung naturgemäß wesentlich schwächer.

Der Klimaprüfstand dieses Forschungsvorhabens für die Innenanstriche befand sich - wie bereits in Abschnitt 5.1 erläutert - im Inneren einer gut belüfteten, freistehenden Fertiggarage unterhalb des Freibewitterungsstandes. Hier wurde das Klima mittels eines Thermohygrografens fortlaufend aufgezeichnet. Die Auswertung der Schreiberprotokolle führte zu folgenden Ergebnissen:

- a1) Höchste Temperatur: 34°C
- a2) niedrigste Temperatur: -8°C

- b1) Zahl der Temp.-Wechsel/Jahr mit $5 < \Delta T < 10^{\circ}\text{C}$: 225
- b2) Zahl der Temp.-Wechsel/Jahr mit $\Delta T > 10^{\circ}\text{C}$: 14

- c) Zahl der Frost-Tauwechsel/Jahr: 9

- d1) niedrigste Luftfeuchte: 33 % RF
- d2) höchste Luftfeuchte: 95 % RF

Ein Vergleich dieser für einen Innenanstrich schon sehr hoch anzusetzenden Beanspruchungen mit den zur Zeit gültigen Prüfvorschriften nach [1], (vgl. Tab. 4) zeigt, daß - unter Berücksichtigung der Temperatursprünge von

mindestens 20°C - hier eine Kurzzeitbeanspruchung ausgewählt wurde, die die tatsächlichen Klimabeanspruchungen der normalen Innenanwendung überschreiten. Es besteht daher weder eine Veranlassung, diese Prüfvorschrift zu verschärfen (zumal sie sich bisher auch gut bewährt hat) noch sie abzuschwächen, da das Prüfverfahren auch die Anwendung der Anstrichsysteme beispielsweise in offenen Hallen beinhalten sollte.

Zeit	Beanspruchung
0 - 8.00	+40°C, 50 % RF
8 - 12.00	-20°C
12 - 16.00	+20°C, 80 % RF
16 - 24.00	+10°C, 50 % RF

Tabelle 4 Kurzzeit-Alterungsprüfung für dämmschichtbildende Brandschutzinnenanstriche. Die Prüfung dauert 3 Wochen (z.Z. gültige Prüfvorschrift nach [1])

7. Beobachtung der natürlichen und künstlichen Alterung mittels zerstörungsfreier Prüfmethoden

In diesem Untersuchungsabschnitt sollte festgestellt werden, ob es mittels der in den Abschnitten 3.1, 3.2 und 3.3 erläuterten zerstörungsfreien Prüfmethoden möglich ist, Aussagen über den Alterungsfortschritt natürlich oder künstlich bewitterter Brandschutzanstriche zu gewinnen. Von den drei Prüfmethoden war bisher das magnet-induktive Schichtdickenmeßverfahren zur Kontrolle der aufgetragenen Anstrichmengen bei Zulassungsprüfungen und auch am Bauwerk eingesetzt worden. Der Schaukelhärteprüfer nach Zeidler und der Eindringhärteprüfer nach Buchholz waren bisher nicht im Zusammenhang mit dämmschichtbildenden Brandschutzanstrichen verwendet worden.

Die Untersuchungen mit diesen drei Verfahren wurden an 5 mm dicken beschichteten Stahlplatten der Abmessungen 250 x 500 mm durchgeführt, die sowohl vom Freibewitterungsstand

als auch vom Innenbewitterungsstand stammten. Jeder im Versuchsprotokoll für eine Platte eines bestimmten Anstrichsystems festgehaltene Meßwert eines Meßtermins ist Mittelwert von jeweils 10 (Schaukelhärte, Eindringhärte) bzw. 12 (Schichtdicke) Einzelmessungen. Die im Freien gelagerten Platten wurden wegen der schärferen Beanspruchung öfter gemessen als die Platten des Innenbewitterungsstandes. Da die Werte der Schichtdicke, der Schaukel- und der Eindringhärte sehr stark von der Temperatur und auch vom Feuchtegehalt der Anstriche abhängen, wurden die Platten jeweils 14 Tage vor der Messung im Klimaraum (20°C , 65 % RF) gelagert und anschließend dort auch gemessen. Es sollte sichergestellt werden, daß beobachtete Veränderungen nicht durch die jeweils herrschenden Klimate während der Messungen beeinflusst wurden, sondern der langfristigen Bewitterung zugeordnet werden konnten. Die zeitabhängigen Verläufe von Schichtdicke, Schaukel- und Eindringhärte der in die Untersuchung einbezogenen Anstrichsysteme zeigen die Abb. 12 - 20 .

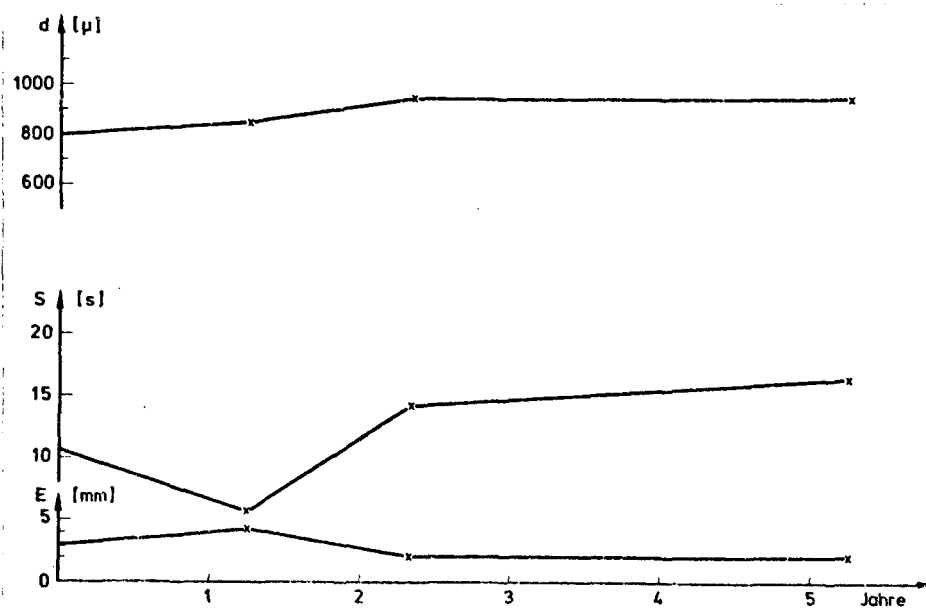


Abb. 12 Schichtdicke d , Schaukelhärte S , Eindringhärte E des Systems I1 bei Innenlagerung.

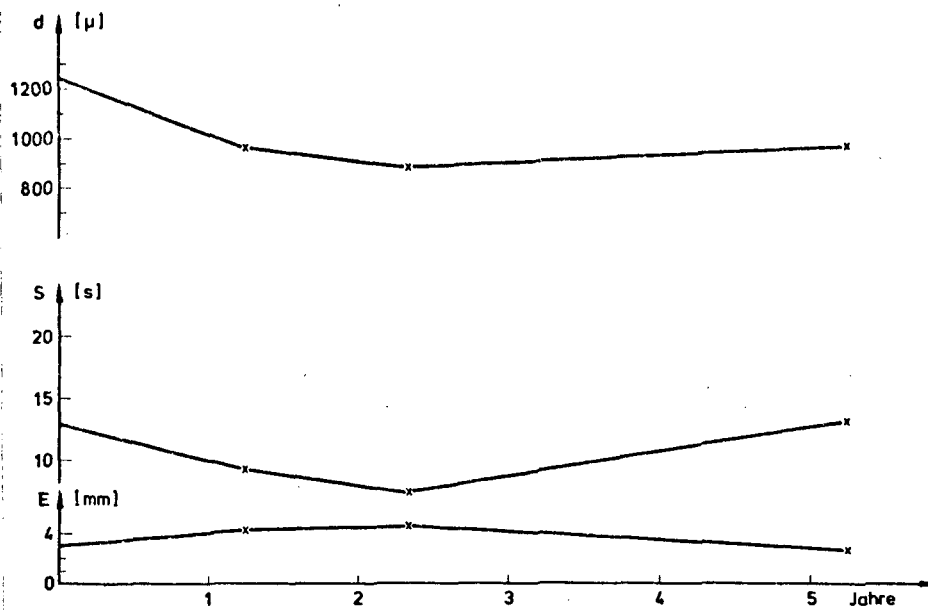


Abb. 13 Schichtdicke d , Schaukelhärte S , Eindringhärte E des Systems A2 bei Innenlagerung.

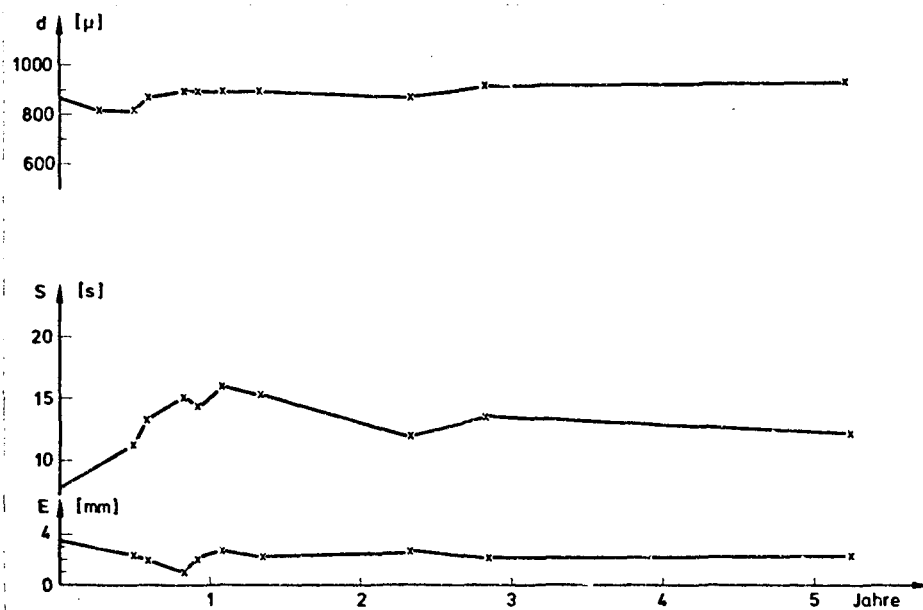


Abb. 14 Schichtdicke d , Schaukelhärte S , Eindringhärte E des Systems A2 bei Freibewitterung.

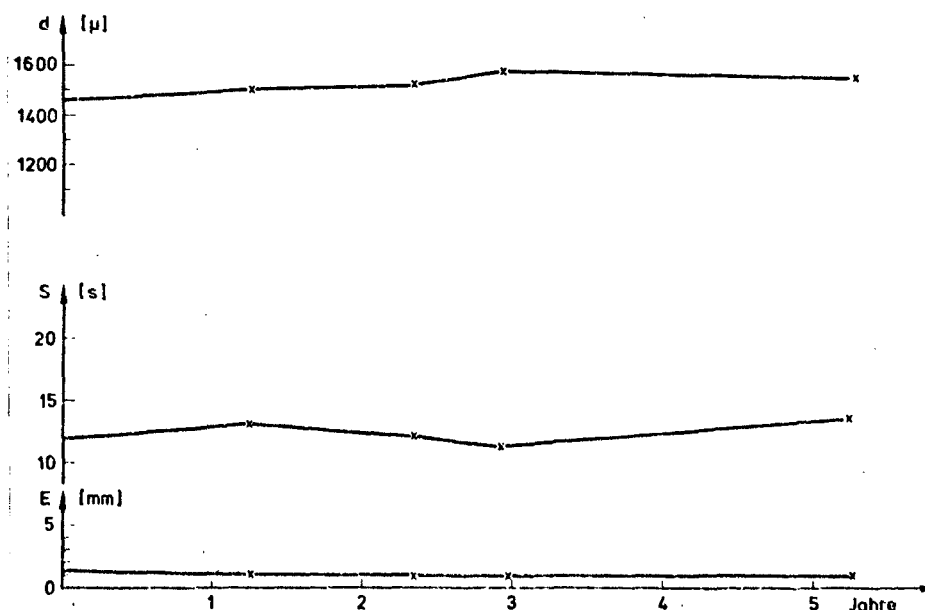


Abb. 15 Schichtdicke d , Schaukelhärte S , Eindringhärte E des Systems I3 bei Innenlagerung.

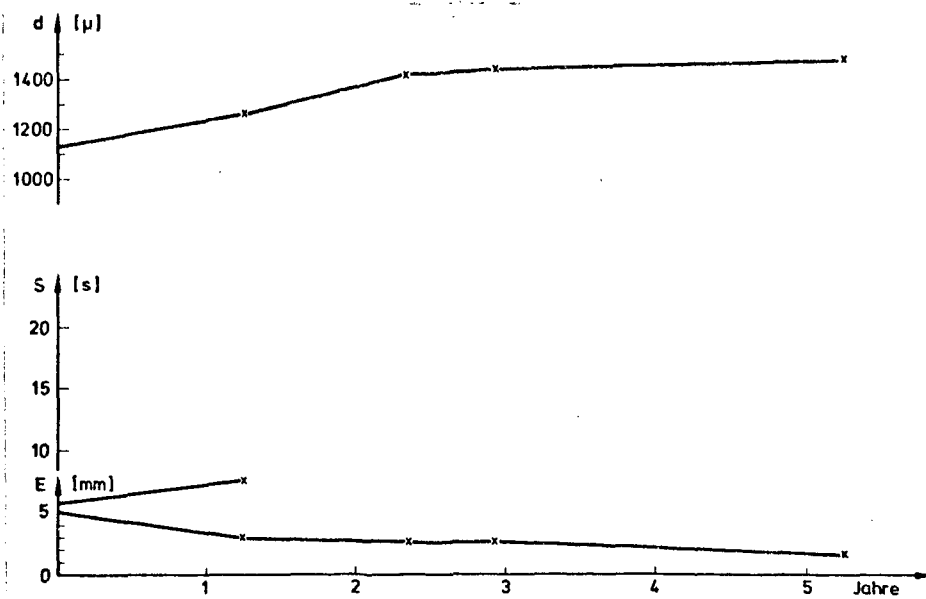


Abb. 16 Schichtdicke d , Schaukelhärte S , Eindringhärte E des Systems I, A4 bei Innenlagerung.

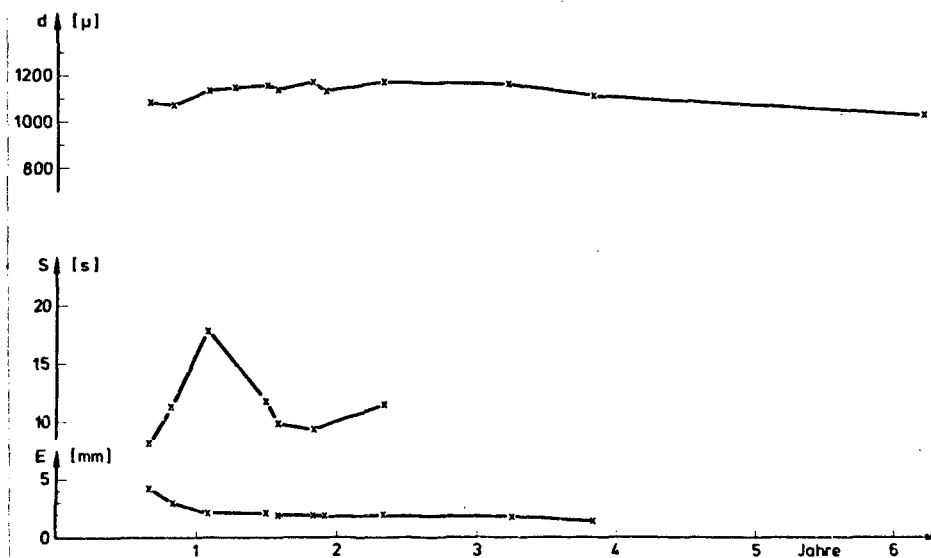


Abb. 17 Schichtdicke d , Schaukelhärte S , Eindringhärte E des Systems I, A4 bei Freibewitterung.

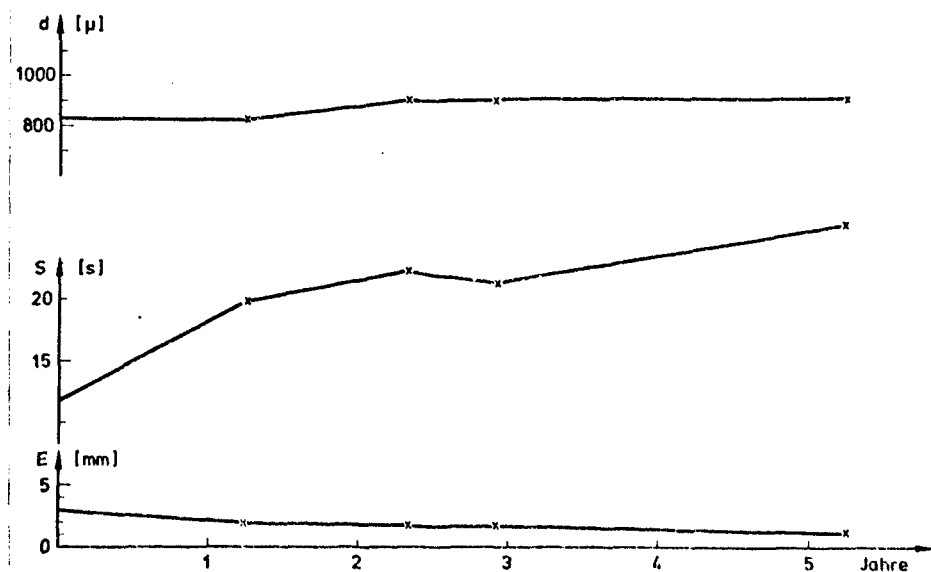


Abb. 18 Schichtdicke d , Schaukelhärte S , Eindringhärte E des Systems I5 bei Innenlagerung.

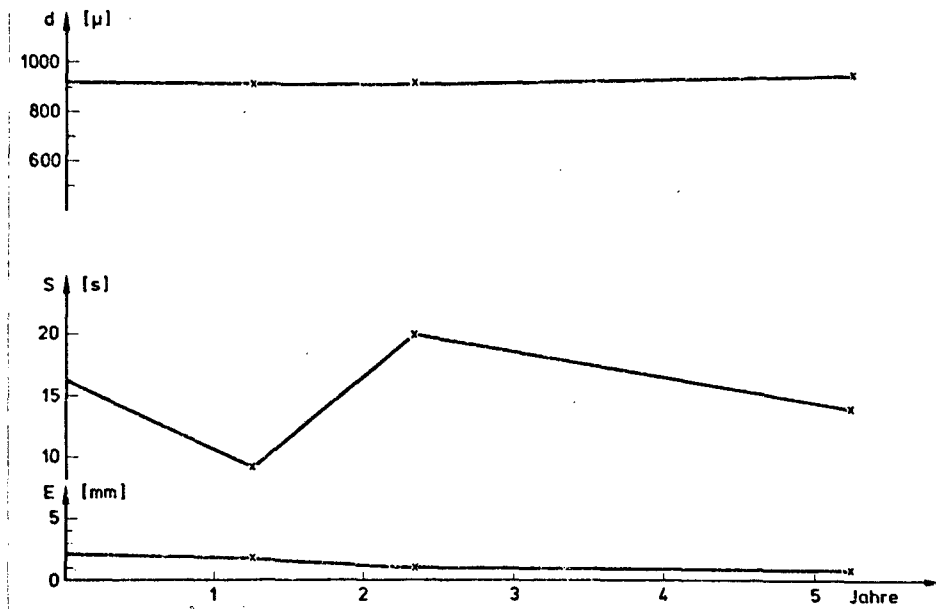


Abb. 19 Schichtdicke d , Schaukelhärte S , Eindringhärte E des Systems I6 bei Innenlagerung.

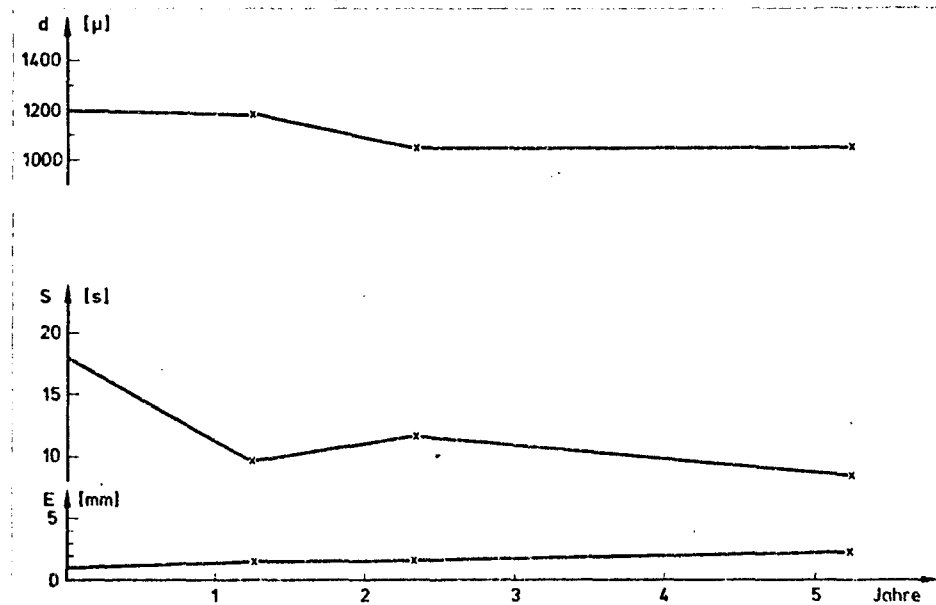


Abb. 20 Schichtdicke d , Schaukelhärte S , Eindringhärte E des Systems I7 bei Innenlagerung.

Bereits ein erster Vergleich der Abb. 12 - 20 zeigt, daß aus der zeitlichen Veränderung von Schichtdicke (d), Schaukelhärte (S) und Eindringhärte (E) keine Rückschlüsse auf den jeweiligen Alterungsfortschritt gezogen werden können. Das zu einem beliebigen Zeitpunkt an der Oberfläche eines dämmschichtbildenden Brandschutzsystems ermittelte Wertetripel d, S, E vermag also keine Angaben über den Fortschritt der Alterung zu liefern. Zu den einzelnen Meßverfahren selbst ist festzustellen, daß für baupraktische Kontrollen nur das magnetinduktive Schichtdickenmeßverfahren geeignet ist. Der Einsatz des Schaukelhärteprüfers erfordert grundsätzlich waagerechte Flächen, die außerdem glatt und staubfrei sein müssen. Jede Strukturierung der Oberfläche (Pinselfrich, Rollenmuster) schließt die Messung bereits aus. Zusätzlich wird durch die Verschmutzung eines Außenanstriches die Meßwertstreuung unzulässig erhöht. Aus den vorstehend genannten Gründen wurde die Bestimmung der Schaukelhärte beim System I, A4 bereits nach einem bzw. zwei Jahren abgebrochen. Wie die Schaukelhärte erfordert auch die Eindringhärte eine waagerechte Meßfläche. Strukturierungen der Oberfläche durch Pinsel oder Rolle bleiben durch geschicktes Aufsetzen des Meßgerätes nahezu ohne Einfluß auf das Meßergebnis. Schwierigkeiten bereitet aber - besonders bei silberfarbenen Deckanstrichen - das Ausmessen der Eindrucklänge des Kreismessers.

Wenn auch aus den Langzeitmessungen von d, S und E keine direkten Rückschlüsse auf den Alterungsfortschritt eines Brandschutzsystems zu einem bestimmten Zeitpunkt gezogen werden können, so lassen die Meßwertkurven doch einige grundsätzliche Tendenzen im Alterungsverhalten der Anstrichsysteme erkennen:

- a) Die meisten Anstrichsysteme neigen bei fortschreitender Alterung zur Versprödung. Das äußert sich in einem Anstieg von S, einem Abfall von E und einem "scheinbaren" Anstieg von d. Besonders deutlich zeigt sich dieser Effekt an den Systemen IA4 und I5 (vgl. Abb. 16 und 18). Das auch im Innenbewitterungsstand gelagerte System A2 (vgl. Abb. 13) wird in einer Zeitspanne von etwa 2,5 Jahren nach dem Aufbringen des Anstrichs weicher und

beginnt erst dann zu verspröden. Völlig gegensätzlich verhält sich dagegen das System I7 (vgl. Abb. 20), dessen Erweichungsprozeß auch nach über 5-jähriger Lagerung nicht abgeschlossen ist.

- b) Die Tendenz, bei fortschreitender Alterung zu verspröden, scheint auch bei Außenanstrichen zu bestehen. Die geringe Zahl der zur Verfügung stehenden Systeme läßt hier keine weitergehenden Aussagen zu.

Insgesamt ist zunächst auffällig, daß die Schichtdicke d bei zunehmender Erweichung (Abnahme von S , Zunahme von E) "abnimmt", dagegen bei zunehmender Versprödung (Zunahme von S , Abnahme von E) "zunimmt". Die Veränderungen der Schichtdicke sind jedoch nur scheinbar, da sie durch das mehr oder weniger tiefe Eindringen der Schichtdickenmeßsonde in den aufgeweichten bzw. versprödeten Anstrich hervorgerufen werden. Die Sondenspitze wird - bedingt durch ihre konstruktive Ausführung - mit einer konstanten Federkraft auf den Anstrich aufgedrückt, so daß sich unterschiedliche Weichheit des Untergrundes in z. T. erheblichen Meßwertänderungen bemerkbar macht. Diese Meßwertverfälschungen können bis zu 25 % betragen.

Aus den Ergebnissen lassen sich für die baupraktische Anwendung der magnetinduktiven Schichtdickenmessung zwei Schlußfolgerungen ziehen:

- a) Aufgrund der normalerweise zunehmenden Versprödung der Anstrichsysteme ist die nach der Applikation bestimmte Schichtdicke kleiner als ihr tatsächlicher Wert. Man liegt bei der Überwachung der Anstricharbeiten also auf der sicheren Seite.
- b) Für eine exakte Schichtdickenbestimmung muß der Andruck der Sondenspitze verringert werden. Das kann durch einen Austausch der Anpreßfedern oder auch durch Aufsetzen nur unter dem Eigengewicht der Sonde geschehen.

Sicherstes Indiz, ob die Schichtdickenmessung exakt ist, ist eine praktische abdruckfreie Meßstelle, was sich mittels einer kleinen Handlupe nach der Messung einfach überprüfen läßt.

8. Verhalten dämmschichtbildender Brandschutzsysteme bei Innen- und Außenbewitterung

Die im Innenbewitterungsstand aufbewahrten, beschichteten Stahlplatten zeigten während der insgesamt 6-jährigen Lagerung keine optisch feststellbaren Veränderungen. Bei den regelmäßigen Kontrollgängen konnten jedoch auf dem Außenbewitterungsstand sehr bald deutliche Veränderungen und Schäden an den ausgelagerten Probekörpern beobachtet werden. Allerdings traten derartige Schäden nur an den zu Vergleichszwecken zusätzlich ausgelagerten Anstrichsystemen für die Anwendung im Inneren von Gebäuden auf. Der in die Untersuchungen einbezogene Außenanstrich zeigte bei Abschluß dieser Forschungsarbeit erstmals vereinzelt etwa 1 - 3 cm lange, feine Risse im Deckanstrich. Die Innenanstriche waren nahezu vollständig von den Stahlplatten abgewittert. Hier waren nur noch die Grundierungen vorhanden. Das in Tabelle 1 mit I,A bezeichnete Anstrichsystem versagte genau so schnell, wie die reinen Innenanstriche. Dieser Tatbestand veranlaßte seinerzeit wohl auch den betreffenden Hersteller, das Produkt nicht mehr als Außenanstrich zu bezeichnen.

In den Abbildungen 21 - 26 sind typische Schadensbilder dargestellt. Die Abb. 21 - 23 zeigen Anstrichoberflächen ohne künstliche Beschädigungen. Die Zerstörungen wurden allein durch die natürliche Bewitterung innerhalb von 14 Wochen ausgelöst (Bewitterungsbeginn: August 1971).

Abb. 21 zeigt die Auswaschung von löslichen Bestandteilen des Dämmschichtbildners unterhalb des Deckanstrichs infolge Beanspruchung durch Regenwasser. Die löslichen Salze traten aus kleinen Poren des Deckanstrichs aus. Im Zentrum jedes "Auswaschungskraters" befindet sich dementsprechend eine

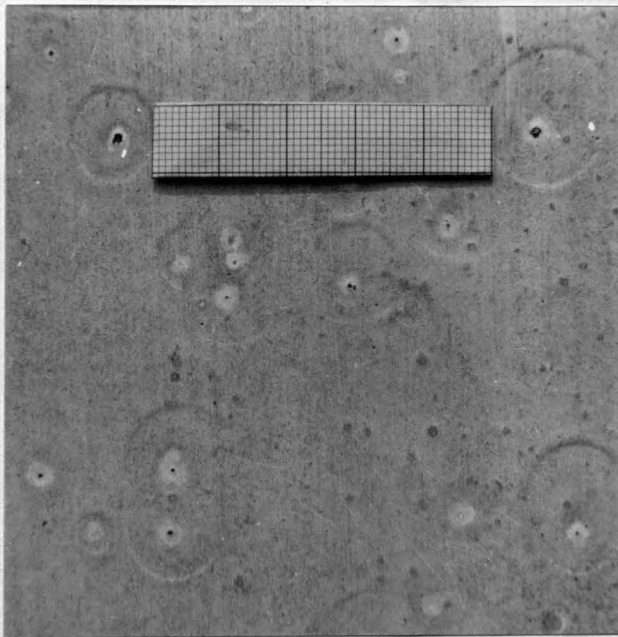


Abb. 21

Auslaugen löslicher
Salze am System I1
nach 14 Wochen
Freibewitterung.

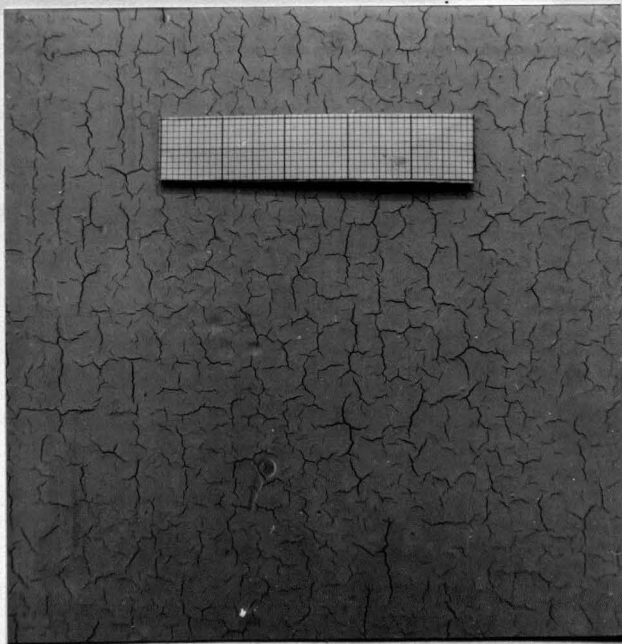


Abb. 22

Netzrisse im System
I,A4 nach 14 Wochen
Freibewitterung.

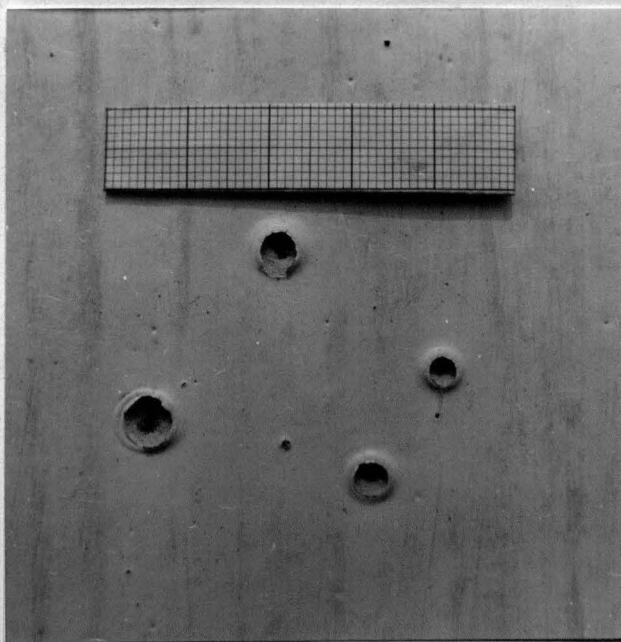


Abb. 23

Auswaschungen des
Dämmschichtbildners
nach dem Aufplatzen
von Blasen im Deckan-
strich. System I5
nach 14 Wochen Frei-
bewitterung.



Abb. 24 Keine Veränderungen am Schnitt im System A2 nach 14 Wochen Freibewitterung.

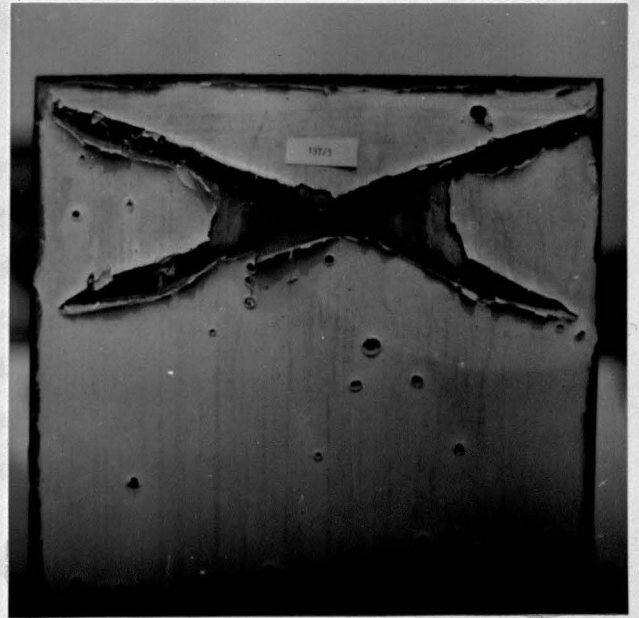


Abb. 25 Zerstörungen am Schnitt infolge Auswaschens des Dämmschichtbildners am System I5 nach 14 Wochen Freibewitterung.

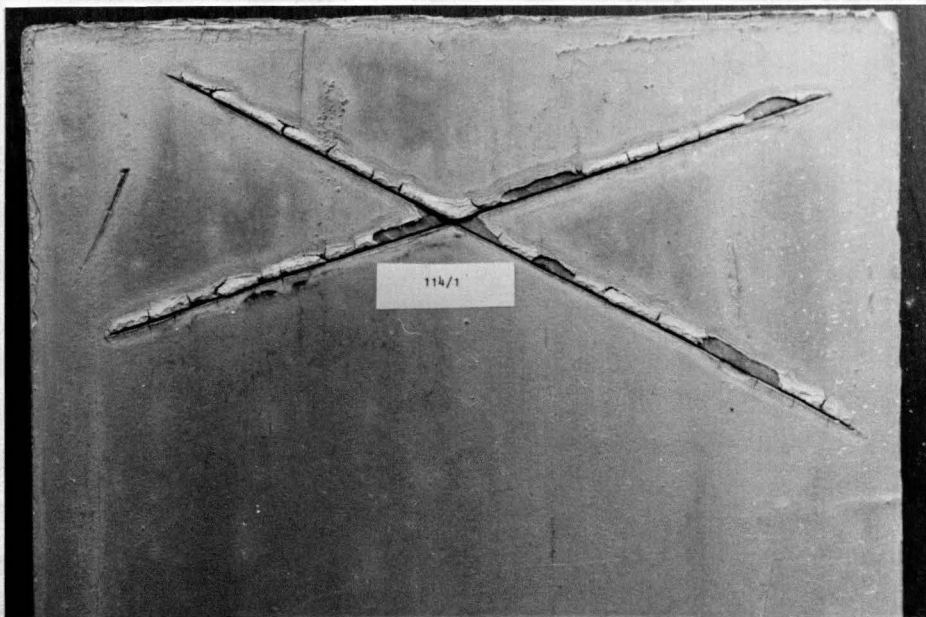


Abb. 26 Zerstörungen am Schnitt infolge Auslaugens löslicher Salze aus dem Dämmschichtbildner des Systems I7 nach 14 Wochen Freibewitterung.

kleine Pore. Aktive Poren, durch die also noch lösliche Salze austreten, sind deutlich an einem kleinen weißen "Hof" von 1 - 3 mm \varnothing zu erkennen.

Abb. 22 zeigt ein unregelmäßiges Netzwerk fein verzweigter Risse, das sich nicht allein auf den Deckanstrich beschränkte, sondern sich auch in die Tiefe der Beschichtung hinein fortsetzte. Diese Risse weiteten sich später bis zu einer Rißweite von 0,5 mm auf. Aus den Rissen traten bei Feuchteeinwirkung wasserlösliche Bestandteile des Dämmschichtbildners aus, die zunächst als weißgrauer Salzbelag auf und unterhalb der Plattenabtropfkante in Erscheinung traten. In der Folgezeit wurden sie jedoch durch weiteren Regen völlig gewaschen.

Abb. 23 zeigt kraterförmige Auswaschungen des Dämmschichtbildners, wobei allerdings hier - im Gegensatz zu Abb. 21 - im gesamten Kraterbereich der Deckanstrich zerstört ist. Zunächst hatten sich an diesen Stellen Blasen im Deckanstrich gebildet (evtl. durch Osmose), die dann aufplatzten. Danach wurde der Dämmschichtbildner sehr schnell ausgewaschen.

Die Abb. 24 - 26 zeigen Anstrichzerstörungen infolge einer künstlichen Beschädigung. Ausgangsschaden war hier ein Kreuzschnitt, der mit einem "Linoleummesser" bis auf den Stahluntergrund eingeschnitten worden war. Nach 4-monatiger Freibewitterung war lediglich der Außenanstrich noch ohne Folgeschäden, ein Zustand, der sich auch bis zum Abschluß der Untersuchung nach 6-jähriger Bewitterung nicht änderte.

Insgesamt ergab die Auslagerung der Probeplatten in den Außen- und Innenbewitterungsständen, daß Innenanstriche, die der freien Bewitterung ausgesetzt werden, sehr rasch mit deutlich sichtbaren Schäden versagen. Die gleichen Anstriche, vor den direkten Einflüssen von Sonne und Regen geschützt, zeigten auch nach 6-jähriger Bewitterung keine optisch erkennbaren Schäden. Ein dauerhafter Brandschutz

kann daher von einem Innenanstrichsystem nur dann erwartet werden, wenn - besonders in Gebäuden, in denen das Klima dem Außenklima folgen kann - der Anstrich auch nicht kurzzeitig der direkten Bewitterung, in erster Linie Regen, ausgesetzt wird.

9. Verhalten dämmschichtbildender Brandschutzsysteme bei künstlicher Bewitterung

Aufgabe einer künstlichen Bewitterung im Labor ist es, das Dauerstandverhalten eines Anstriches in zeitraffenden Laborversuchen soweit wie möglich vorherzusagen. Für die hier durchgeführten Untersuchungen standen die Klimafaktoren Wärme, Kälte, Temperaturwechsel, Feuchte, Trockenheit, Feuchtwechsel, Frost-Tau-Wechsel und aggressive Gase (SO_2 , NH_3) zur Verfügung. Sie konnten unter Einsatz von Kesternichgeräten nach DIN 50 017/50 018, Kühltruhen und Trockenschränken dargestellt werden. Die Mehrzahl aller Untersuchungen geschah im Kesternichgerät mit und ohne Begasung. Daneben wurden Beanspruchungen durch Frost-Tau-Wechsel und durch Temperaturwechsel mit Kesternichprüfungen kombiniert.

9.1 Untersuchungen im Kesternichgerät

Folgende Prüfzyklen wurden in Anlehnung oder direkt nach der Norm zur künstlichen Bewitterung herangezogen:

a) SK - 2,OS - DIN 50 018

Es handelt sich um ein Schwitzwasser-Konstantklima (40°C , 100 % RF), zusätzlich wurden an den Wochentagen (Montag - Freitag) der Prüfatmosphäre je 2 Liter SO_2 zugefügt. Während der gesamten Prüfdauer blieb die Prüfkammer geschlossen.

b) SK - 2,ON - DIN 50 018

Wie a), jedoch wurde der Prüfatmosphäre NH_3 statt SO_2 zugefügt.

c) SK - DIN 50 017

Wie a) und b), jedoch ohne Begasung.

d) SFW - 2,OS - DIN 50 018

Schwitzwasser-Feuchte-Wechselklima (8 h : 40°C, 100 % RF; 16 h : Prüfkammer geöffnet, Raumklima), bei dem jeweils zu Beginn der achtstündigen Betauung der Prüfatmosphäre 2 Liter SO₂ zugesetzt wurden.

e) SFW - 2,ON - DIN 50 018

Wie d), jedoch wurde der Prüfatmosphäre NH₃ statt SO₂ zugesetzt.

f) SFW - DIN 50 017

Wie d) und e), jedoch ohne Begasung.

Die Prüfzyklen nach a), b) und e) waren in enger Anlehnung an DIN 50 017 und 50 018 aufgebaut. Die Zyklen nach c), d) und f) entsprachen direkt den alten Normen (in der neuesten Fassung von DIN 50 018 wurde die SO₂-Zugabe auf 0,2 Liter begrenzt).

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen lassen sich folgendermaßen kurz zusammenfassen:

zu a)

Die Beanspruchung ist, bedingt durch die hohe SO₂-Zugabe und die dauernde, feuchte Wärme, zu stark. Es zeigten sich keine Schäden oder Veränderungen, die in irgendeiner Weise denen der Freibewitterung ähnelten. Außerdem ergab sich keine brauchbare Differenzierung zwischen Innen- und Außenanstrichen, außer, daß erste Schäden bei den Innenanstrichen bereits nach einem Zyklus, bei dem Außenanstrich erst nach drei Zyklen auftraten. An den unteren Plattenkanten hingen nach 24 Zyklen lange Salzabsonderungen herab. Die Anstriche waren ausgelaugt und stark zerstört.

zu b)

Auch nach insgesamt 24 Zyklen konnte aufgrund der Schadensbilder noch deutlich zwischen Innen- und Außenanstrichen unterschieden werden. Lediglich ein Innenanstrich zeigte kaum Einwirkungen und hätte daher für einen Außenanstrich

gehalten werden können. Die Schadensbilder zeigten insgesamt eine gewisse Ähnlichkeit mit der Freibewitterung.

zu c)

Erscheinungsbild wie bei b). Die Abb. 27 und 28 zeigen eine Serie von Prüfkörpern, bei denen der Anstrich vor der Prüfung kreuzweise aufgeschnitten worden war. Die beiden oberen Platten der Abbildungen sind identisch, es handelt sich um den Außenanstrich. Deutlich zeigt sich hier die unterschiedlich starke Neigung der Anstriche, bei Beschädigung der Deckanstriche auszulaugen (untere Platte von Abb. 27, mittlere von Abb. 28). Auch das bei der Freibewitterung beobachtete netzartige Rißmuster trat auf (untere Platte von Abb. 28).



Abb. 27 28 Tage SK-DIN 50 017
an Probeplatten 20 x
10 cm. Von oben nach
unten die Systeme A2,
I5, I6.

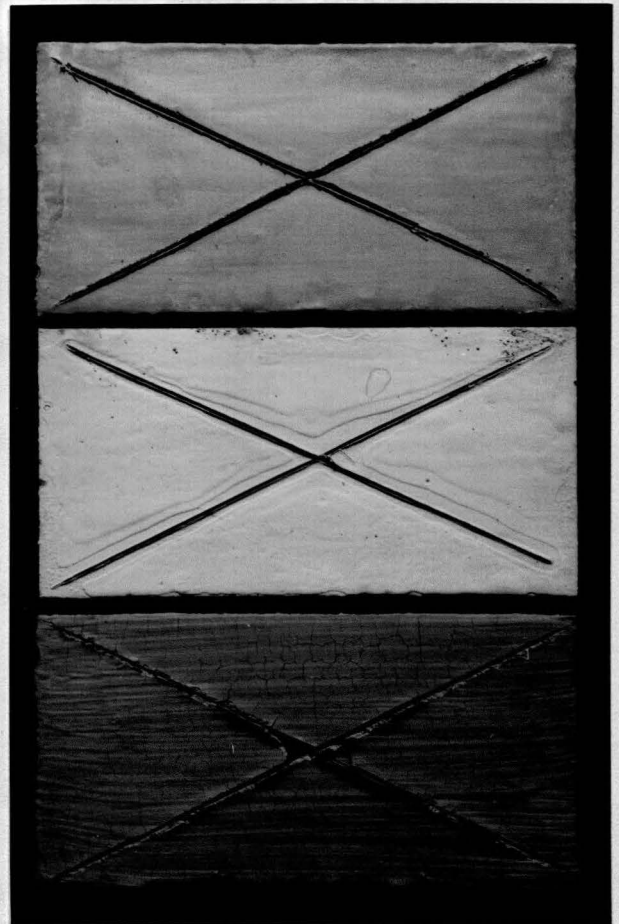


Abb. 28 28 Tage SK-DIN 50 018
an Probeplatten 20 x
10 cm. Von oben nach
unten die Systeme A2,
I1, IA4.

zu d)

Nach 24 Zyklen ergaben sich starke Anstrichbeschädigungen, die keine Ähnlichkeiten mit der Freibewitterung aufwiesen. Allerdings bildeten sich hier keine herabhängenden Salzabsonderungen wie bei a). Eine Differenzierung zwischen Innen- und Außenanstrichen war - bis auf die vorstehend geschilderte Ausnahme - nur während der ersten drei bis vier Zyklen möglich, danach setzten an allen Anstrichsystemen starke Zerstörungen ein.

zu e) und f)

Nach 24 Zyklen führten beide Beanspruchungsarten an den Probekörpern zu den gleichen Schäden, eine Differenzierung zwischen Innen- und Außenanstrich war - bis auf eine Ausnahme - gut möglich. Die Schadensbilder nach 24 Zyklen kommen denen der Freibewitterung näher als bei b) und c).

Insgesamt haben diese Untersuchungen gezeigt, daß die verschiedenen Variationen der Kesternichprüfung allein noch keine brauchbare Zeitrafferprüfung für die Witterungsbeständigkeit von dümmeschichtbildenden Brandschutzanstrichen darstellen. Für die Formulierung einer derartigen zeitraffenden Bewitterung im Labor lassen sich aus den vorstehend beschriebenen Untersuchungen jedoch folgende Einzelergebnisse ablesen:

- 1) Eine Begasung mit NH_3 ist ohne Auswirkung und kann daher unterbleiben.
- 2) Eine Begasung mit 2 l SO_2 ist zu aggressiv. Sie sollte durch 0,2 l SO_2 ersetzt werden.
- 3) Eine SK-Beanspruchung (auch ohne Begasung) sollte ohne Unterbrechung nicht länger als drei Tage dauern.
- 4) Wechselbeanspruchungen (SFW) führen zu wirklichkeitsnäheren Schadensbildern als Konstantklimate (SK).

9.2 Beanspruchung durch Temperaturschocks

Um festzustellen, ob bereits eine größere Zahl scharfer Temperaturwechsel zu deutlichen Schäden an den Anstrichen infolge stark unterschiedlicher thermischer Ausdehnungskoeffizienten führen können, wurde eine Probekörperserie einer Temperaturwechselbeanspruchung zwischen $+60^{\circ}\text{C}$ und -20°C ausgesetzt. Die Probekörper ruhten jeweils mindestens 3 Stunden bei einer der beiden Endtemperaturen. Der Temperaturwechsel erfolgte schockartig durch rasches Umlagern der Platten von der warmen in die kalte Prüfkammer und umgekehrt.

Nach 100 derartigen Wechseln waren nur bei einem Anstrichsystem im Deckanstrich vereinzelte, mehrere mm^2 -große Ablösungen des Decklacks zu beobachten. Diesen Effekt zeigt Abb. 29. Bei einer weiteren Platte traten erste Ansätze des bereits bei der Freibewitterung und den Kesternichprüfungen beschriebenen, feinen Rißnetzwerkes auf.

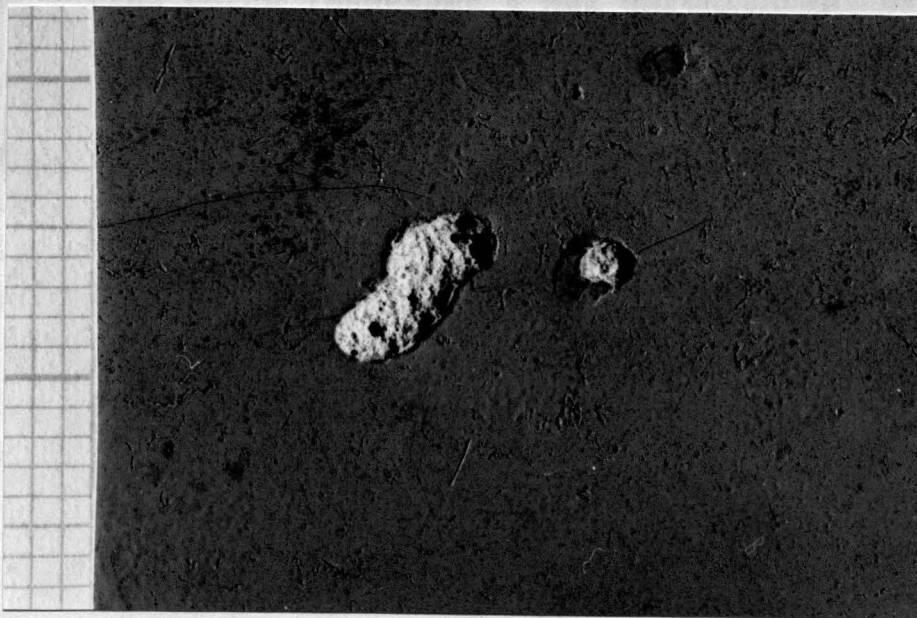


Abb. 29 Ausplatzungen im Deckanstrich des Systems I6 nach 100 Temperaturwechseln $+60/-20^{\circ}\text{C}$.

Insgesamt gesehen führte eine Temperaturbeanspruchung allein noch zu keinen deutlich sichtbaren und mit der Freibewitterung oder der Kesternichprüfung vergleichbaren Anstrichschäden. Mittels Schaukelhärteprüfer und Eindringhärtemesser

konnte jedoch nachgewiesen werden, daß eine Alterung stattgefunden hatte, da bei allen Anstrichsystemen die Härte zugenommen hatte.

9.3 Kesternichprüfungen mit Temperatur- und Frost-Tau-Wechseln

Die Kombination von Variationen der Kesternichprüfung mit Temperatur- oder Frost-Tau-Wechseln bietet die Möglichkeit, die Zahl der klimatischen Beanspruchungsfaktoren innerhalb eines Prüfzyklusses eher denen einer Freibewitterung anzupassen als mit den Einzelverfahren allein. Daß sich die Beanspruchung bei einer Kombination der Prüfverfahren deutlich erhöht, konnte mit folgendem Prüfzyklus gezeigt werden:

3 Tage SK-DIN 50 017
1 Tag +60°C
3 Tage SK-2,OS-DIN 50 018
1 Tag -18°C

Dieser Zyklus wurde insgesamt 4 Mal durchfahren. Die aufgetretenen Schäden waren so stark, daß sie eine Differenzierung zwischen Außen- und Innenanstrich nicht mehr zuließen. Insgesamt war diese Prüfung wesentlich schärfer als beispielsweise eine Beanspruchung nach 24 Zyklen SFW-2,OS-DIN 50 018. Das Schadensbild hatte dementsprechend auch so gut wie keinen Bezug zur Freibewitterung.

Ein weiterer, kombinierter Prüfzyklus war folgendermaßen aufgebaut:

1 Tag SFW-O,2S-DIN 50 018
15 Temperaturwechsel -18/+70°C
1 Tag SFW-O,2S-DIN 50 018
15 Temperaturwechsel +70/-18°C
usw.

Dieser Prüfzyklus wurde nach 20 SFW-Prüfungen und den darauf folgenden 15 Temperaturwechseln abgebrochen. Insgesamt ergab sich damit eine Gesamtbeanspruchung von 20 Zyklen SFW-O,2S-DIN 50 018 und 300 Temperaturwechseln. 10-mal waren die Anstrichsysteme dabei feucht gefrostet

worden. Parallel zu dieser Versuchsreihe wurde eine zweite Prüfkörperserie mit nur 20 Zyklen nach SFW-O,2S-DIN 50 018 gefahren. Einen Vergleich zwischen allen Probekörpern dieser Untersuchung ermöglichen die Fotos der Abb. 30 - 34. Auf jeder Fotografie sind je 2 Platten des gleichen Anstrichsystems zu sehen, wobei immer die linken Platten der Kesternichprüfung und Temperaturwechseln, die rechten nur der Kesternichprüfung unterzogen worden waren.

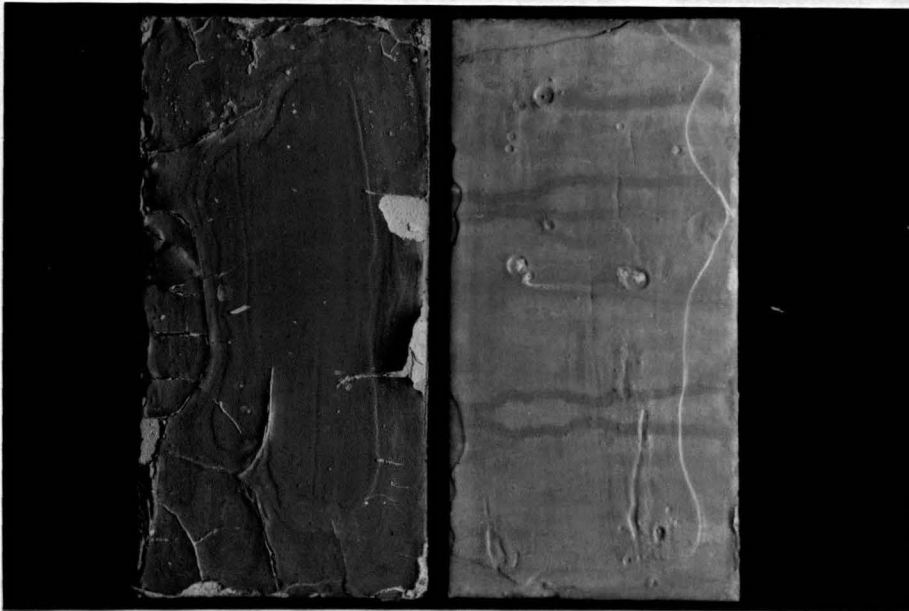


Abb. 30 System I6 nach 20 Zyklen SFW-O,2S-DIN 50 018 (rechts), kombiniert mit 300 Temperaturwechseln $-18/+70^{\circ}\text{C}$ (links).

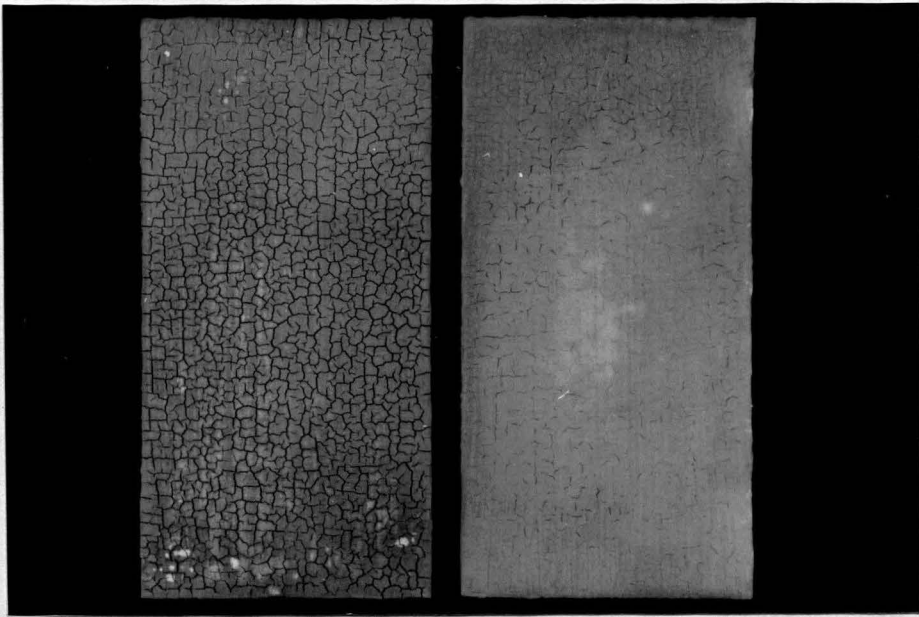


Abb. 31 System IA4 nach 20 Zyklen SFW-O,2S-DIN 50 018 (rechts), kombiniert mit 300 Temperaturwechseln $-18/+70^{\circ}\text{C}$ (links).

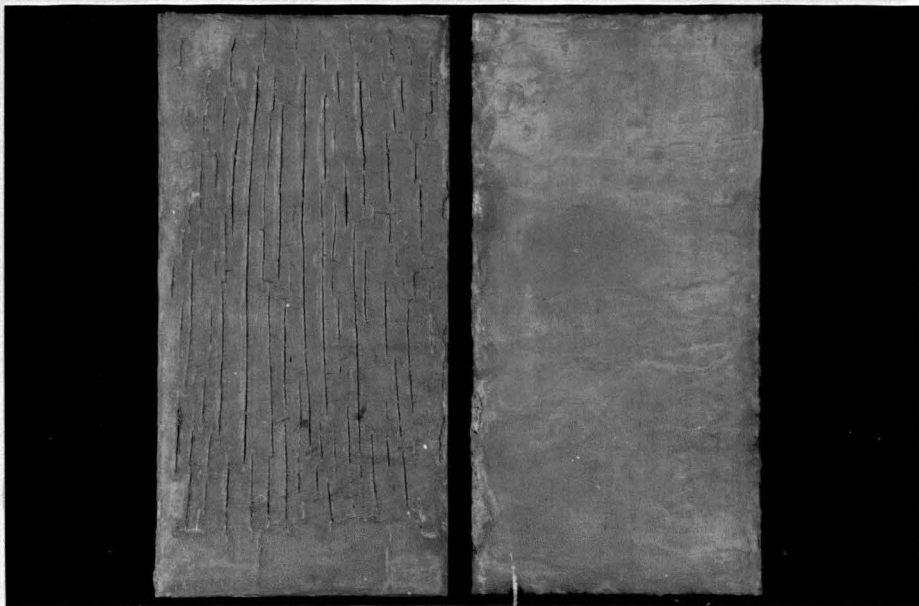


Abb. 32 System A2 nach 20 Zyklen SFW-O,2S-DIN 50 018 (rechts), kombiniert mit 300 Temperaturwechseln $-18/+70^{\circ}\text{C}$ (links).

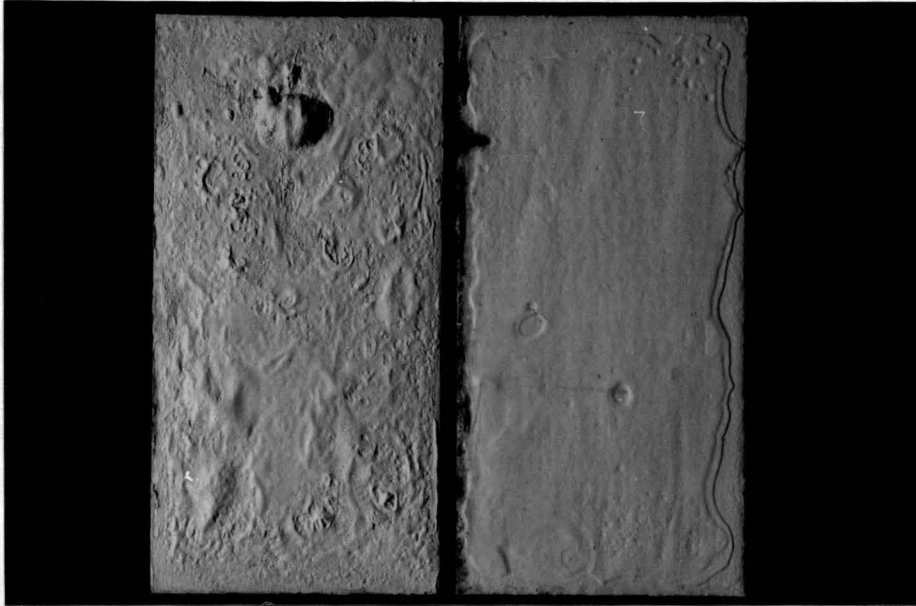


Abb. 33 System I1 nach 20 Zyklen SFW-O,2S-DIN 50 018 (rechts), kombiniert mit 300 Temperaturwechseln $-18/+70^{\circ}\text{C}$ (links).

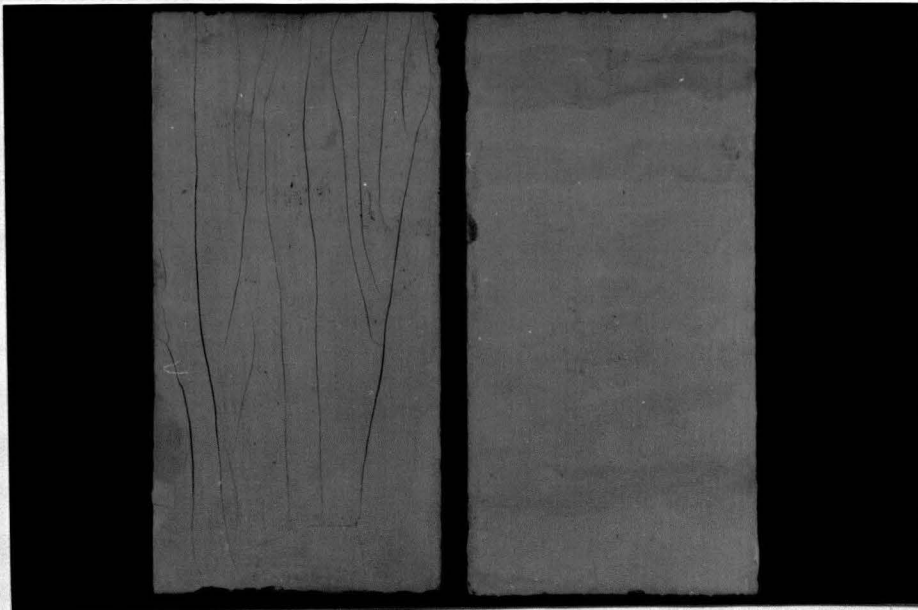


Abb. 34 System I5 nach 20 Zyklen SFW-O,2S-DIN 50 018 (rechts), kombiniert mit 300 Temperaturwechseln $-18/+70^{\circ}\text{C}$ (links).

Es zeigt sich, daß durch die zusätzlichen 300 Temperaturwechsel wenigstens die Deckanstriche erheblich stärker beansprucht wurden, wobei sich bei den in Abb. 30 und 31 wiedergegebenen Platten Schadensbilder einstellten, die denen einer etwa 2,5-jährigen Freilagerung nahezu vollständig entsprachen (vgl. z.B. Abb. 22). Erstmals war auch der Deckanstrich des in Abb. 34 abgebildeten Anstrichsystems nennenswert geschädigt. Dieses System hatte in den Kesternichprüfungen kaum Schäden gezeigt (vgl. z.B. mittlere Platte von Abb. 27). Dagegen versagte es bei der Freibewitterung auffallend rasch (vgl. Abb. 23 und 25).

Die Risse auf dem Außenanstrich der Abb. 32 haben sich dagegen im Vergleich zu den jeweiligen Schadensbildern der Freibewitterung und relativ zu den Schäden an den Innenanstrichen dieser Versuchsreihe zu stark ausgebildet. Allerdings sei an dieser Stelle nochmals vermerkt, daß am Außenanstrich nach 6-jähriger Lagerung auf dem Bewitterungsprüfstand vereinzelt erste 1 - 3 cm lange Risse auftraten.

Eine bessere Beurteilung dieser Untersuchungsreihe wäre durch einen Brandversuch mit den Probeplatten zu erreichen. Es wäre ja durchaus möglich, daß die Risse im Deckanstrich des Außenanstriches dessen Schaumbildungsvermögen noch gar nicht nachteilig beeinflußt haben. Bisher sind jedoch Brandversuche an diesen kleinen Versuchskörpern nicht möglich (Zwischenzeitlich hat das Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau einen Forschungsantrag beim Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau beantragt, der die Entwicklung eines kleinen, tragbaren Prüfgerätes zur Ermittlung des vorhandenen Schaumbildungsvermögens von Brandschutzsystemen auf Probeplatten oder aber auf beliebigen Stahlkonstruktionen vorsieht).

Insgesamt haben diese kombinierten Prüfzyklen aber gezeigt, daß sich durch weitere Variationen der Klimaparameter aus Kesternichprüfung, Temperatur- und Frost-Tau-Wechseln

sicherlich Zeittrafferversuche für die Überprüfung der Witterungsbeständigkeit entwickeln lassen, deren Ergebnisse denen einer Freibewitterung recht nahe kommen können. Dazu bedarf es jedoch noch umfangreicherer Untersuchungen, die schon aus finanziellen Gründen nicht mehr Gegenstand dieser Forschungsarbeit sein konnten. Alle hier gewonnenen Erfahrungen sind jedoch in den Vorschlag für eine zeitraffende Bewitterungsprüfung der Tabelle 3 berücksichtigt worden.

10. Brandversuche mit dem Gegenheizgerät

Durch einen Brandversuch im Kleinbrandhaus unter Einsatz des Gegenheizgerätes läßt sich der Vorgang der Dämmschichtbildung und auch das jeweils noch vorhandene Wärmedämmvermögen eines dämmschichtbildenden Brandschutzanstriches am sichersten nachweisen. Nachteilig ist, daß ein derartiger Versuch einen erheblichen experimentellen Aufwand erfordert und dementsprechend teuer ist. Aus Vorversuchen zu dieser Forschungsarbeit stand eine Prüfeinrichtung bereit, bei der die Prüfplatte in die Decke des Brandraumes eingebaut wurde. Da es sich bei den hier geplanten Untersuchungen um einen Vergleich unterschiedlich beanspruchter Probekörper handelte, wurde - um Kosten einzusparen - der Versuchsaufbau beibehalten, obwohl bei Zulassungsprüfungen die Probeplatte in eine Wand des Brandhauses eingebaut wird. Das hier gewählte Prüfverfahren im Brandversuch ist daher härter als im Zulassungsversuch, da die Haftung des Anstrichs auf dem Stahluntergrund bei waagerechter Anordnung der Prüfplatte stärker beansprucht wird als bei senkrechter Anordnung. Die Versuchskörper können daher hier früher versagen als im Zulassungsversuch. Dieser Sachverhalt ist zu berücksichtigen, wenn die hier ermittelten Standzeiten der Probekörper bis zum Erreichen einer Stahltemperatur von 500°C mit den entsprechenden Werten von Zulassungsversuchen verglichen werden sollen.

Brandversuche an im Freien gelagerten Probekörpern wurden im Abstand von 5 - 10 Monaten durchgeführt. Innen gelagerte Probekörper wurden in diese Versuche aus Kostengründen nicht einbezogen, da derartige Untersuchungsergebnisse regelmäßig im Rahmen von Zulassungsprüfungen anfallen. Eine Prüfkörperserie wurde dann aus den Brandversuchen herausgenommen, wenn sich Standzeiten bis zum Erreichen einer Stahltemperatur von 500°C ergaben, die kleiner als 20 min waren. Berücksichtigt man dabei, daß eine völlig ungeschützte Stahlplatte Standzeiten zwischen 12 und 15 min aufweist, so bedeuten Standzeiten ≤ 20 min, daß das Anstrichsystem bereits völlig versagt hat.

Vor der Auslagerung aller Probekörper im August 1971 (System A2 erst im Januar 1972) wurden je System zwei Prüfplatten als Nullversuch abgebrannt. Einen Eindruck von den auf den Platten noch vorhandenen Dämmschichten (Versuchsende bei $T_{\text{Stahl}} = 500^{\circ}\text{C}$) geben die Abb. 35 - 41. Ein Vergleich der Restschaumstrukturen mit den Standzeiten der Tab. 5 lassen den deutlichen Zusammenhang zwischen noch vorhandener Dämmschicht und Standzeit erkennen. Schäume mit guter Haftung am Stahl und weitestgehend geschlossener Oberfläche erbrachten hohe Standzeiten.

Während der Brandversuche wurde die Schaumbildung beobachtet und gleichzeitig die Stahltemperatur in Abhängigkeit von Zeit und Prüfraumtemperatur (ETK, DIN 4102) mittels eines Schreibers aufgezeichnet. Die Temperatur-Zeit-Diagramme aller Brandversuche zeigen die Abb. 42 - 72. Danach läßt sich das Diagramm eines einwandfrei arbeitenden Anstrichsystems in drei Abschnitte aufteilen:

Abschnitt 1) rascher Anstieg der Temperatur auf $150 - 200^{\circ}\text{C}$ in 3 - 5 min, bis die Schaumbildung beginnt.

Abschnitt 2) langsamer Anstieg der Temperatur von $150 - 200^{\circ}\text{C}$ auf $300 - 400^{\circ}\text{C}$ in weiteren 20 - 30 min. In dieser Zeit entwickelt sich der Schaum vollständig und wird nur wenig zerstört.

Abschnitt 3) rascher Anstieg der Temperatur auf 500°C in weiteren 5 - 10 min. Die Dämmschicht beginnt mit steigender Brandraumtemperatur zu veraschen und abzufallen.

Aus dem vollständigen Diagramm, also aus den Anstiegen und den Längen dieser drei Abschnitte lassen sich daher wichtige Rückschlüsse auf Versagensursache sowie die Stärken oder Schwächen eines Anstrichsystems ziehen. So deutet ein zunächst langsamer Temperaturanstieg in Abschnitt 2 mit einem frühzeitigen, deutlichen Abknicken in Abschnitt 3 auf ein Versagen durch Herabfallen der Dämmschicht (schlechte Haftung) hin. Dagegen weist ein schnellerer Anstieg der Temperatur in Abschnitt 2 auf ein verringertes (Alterung) oder von vornherein unzureichendes Aufschäumvermögen hin. Ohne hier auf weitere Details derartiger Kurvendiskussionen eingehen zu wollen, soll abschließend aber noch bemerkt werden, daß für die Standzeit der Anstieg bzw. die zeitliche Ausdehnung des 2. Abschnitts von ausschlaggebender Bedeutung ist.

Alter System	Monate				
	0	9	10	14	60
I1	31	33	-	22	-
A2	46	-	42	-	44 ⁺⁾
I3	31	15,5	-	-	-
I,A4	37	18	-	-	-
I5	28,5	27	-	20	-
I6	23,5	12	-	-	-
I7	28,5	27	-	20	-

Tab. 5 Standzeiten der Anstrichsysteme in Minuten bis zum Erreichen einer Stahltemperatur von 500°C in Abhängigkeit von der Bewitterungsdauer im Freien.

⁺⁾ Prüfung erfolgte in der BAM bei senkrechter Anordnung der Platte

In Tabelle 5 sind die Standzeiten der einzelnen Anstrichsysteme bis zum Erreichen einer Stahltemperatur von 500°C in Abhängigkeit von der Bewitterungsdauer zusammengefaßt. Aus diesen Werten und den Informationen der Abb. 35 - 72 lassen sich folgende Schlußfolgerungen ziehen:

- a) Der Brandversuch mit Gegenheizgerät bei gleichzeitiger Aufzeichnung des Temperaturanstiegs am Probekörper ist die bisher einzigste und sicherste Methode, das jeweils vorhandene Wärmedämmvermögen und damit auch die Alterungs- bzw. Witterungsbeständigkeit eines dämmschichtbildenden Anstrichsystems zu ermitteln. Nachteile des Verfahrens sind der große experimentelle Aufwand - und damit verbundene, relativ hohe Prüfkosten - sowie die Beschränkung auf Prüfungen im Labor.
- b) Die Brandversuche haben gezeigt, daß Innenanstrichsysteme schon nach relativ kurzen Bewitterungszeiträumen von wenigen Monaten völlig versagen, d.h. überhaupt keine wirksame Dämmschicht mehr ausbilden. Die Ursache des Versagens ist in erster Linie die Feuchtebeanspruchung. In die Praxis übertragen bedeutet das, daß Innenbauteile ggf. auch schon durch wesentlich kürzere Feuchtebeanspruchung zwar nicht völlig versagen, jedoch eine Feuerwiderstandsdauer von 30 min nicht mehr erreichen.
- c) Der freibewitterte Außenanstrich hatte auch nach 5-jähriger Freibewitterung noch eine Standzeit von i. M. 44 min. Berücksichtigt man dabei jedoch, daß die Standzeiten des Nullversuchs von i. M. 46 min bei waagerechter Anordnung des Probekörpers in der Decke des Brandhauses ermittelt wurden, die Standzeiten nach 5-jähriger Freibewitterung dagegen bei senkrechter Anordnung des Probekörpers in der Wand des Brandhauses⁺⁾ , so kann nicht ohne weiteres davon ausgegangen werden, daß der Außenanstrich völlig frei von Alterungserscheinungen im Hinblick auf seine Schutzwirkung ist. Ein Vergleich der

⁺⁾ Prüfung erfolgte bei der BAM in Berlin

Diagramme von Abb. 48 und 49 (Nullversuch) mit denen der Abb. 51 und 52 deutet jedoch darauf hin (nahezu identische Abschnitte 2 und 3), daß das Schaumbildungsvermögen und der Wärmedämmwert des gebildeten Schaums durch die 5-jährige Freibewitterung offenbar nicht nachteilig beeinflußt wurden. Wegen der unterschiedlichen Beanspruchung der Anstrichhaftung am Stahl können Aussagen bezüglich der Auswirkung der Freibewitterung auf die Haftung hier nicht getroffen werden.

Abschließend soll hier noch auf ein Ergebnis verwiesen werden, daß ggf. auf die Prüfverfahren zur Ermittlung der Witterungsbeständigkeit und auf den Einsatz und die Zulassung von dämmschichtbildenden Brandschutzanstrichen für Bauteile im Freien von entscheidender Bedeutung sein kann:

Eine noch vorhandene Probeplatte des Außenanstriches A2 wurde 24 h vor dem Brandversuch in einem Wasserbad (Leitungswasser) gelagert, um die Verhältnisse eines Dauerregens vor einer Brandbeanspruchung nachzuvollziehen. Der Versuchssprobekörper versagte vollständig, da bereits nach 3 min Brandbeanspruchung nahezu die ganze Beschichtung und nach 7,5 min der Rest des Anstrichsystems von der Platte abfiel. In Ermangelung weiterer Probekörper und Forschungsmittel konnte diesem Phänomen nicht weiter nachgegangen werden.

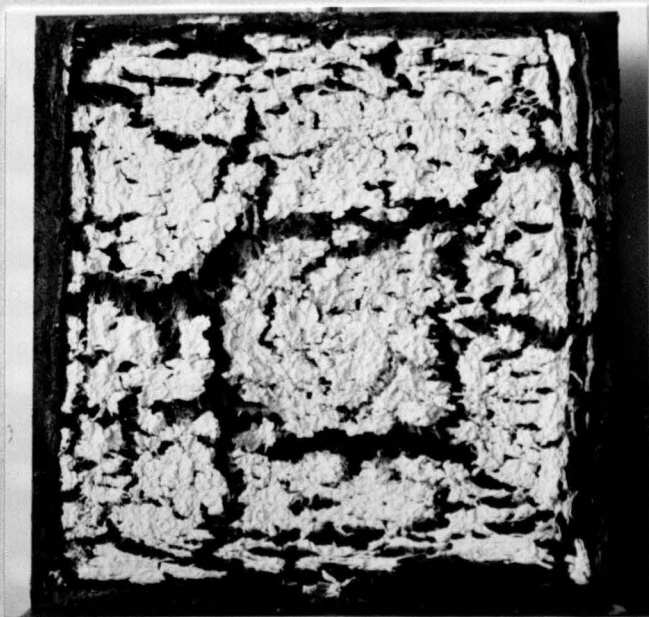


Abb. 35

Kleinbrandversuch am
System I1 (Platte 40).
Nullversuch. Standzeit
bis $T_{\text{Stahl}} = 500^{\circ}\text{C}$: 34 min.



Abb. 36

Kleinbrandversuch am System A2
(Platte 34). Nullversuch.

Standzeit bis $T_{\text{Stahl}} = 500^{\circ}\text{C}$: 50 min.



Abb. 37

Kleinbrandversuch am System I3
(Platte 60). Nullversuch. Stand-

zeit bis $T_{\text{Stahl}} = 500^{\circ}\text{C}$: 17 min.



Abb. 38

Kleinbrandversuch am System IA4
(Platte 42). Nullversuch. Stand-

zeit bis $T_{\text{Stahl}} = 500^{\circ}\text{C}$: 37 min.

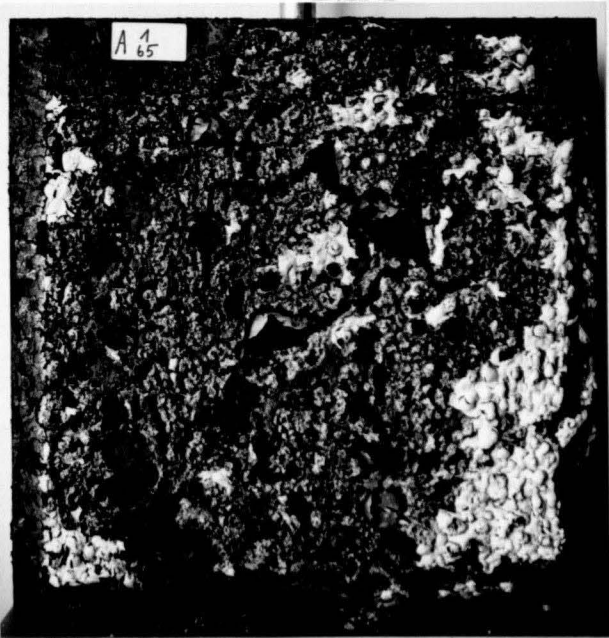


Abb. 39

Kleinbrandversuch am System I5
(Platte 65). Nullversuch. Stand-
zeit bis $T_{\text{Stahl}} = 500^{\circ}\text{C}$: 28 min.

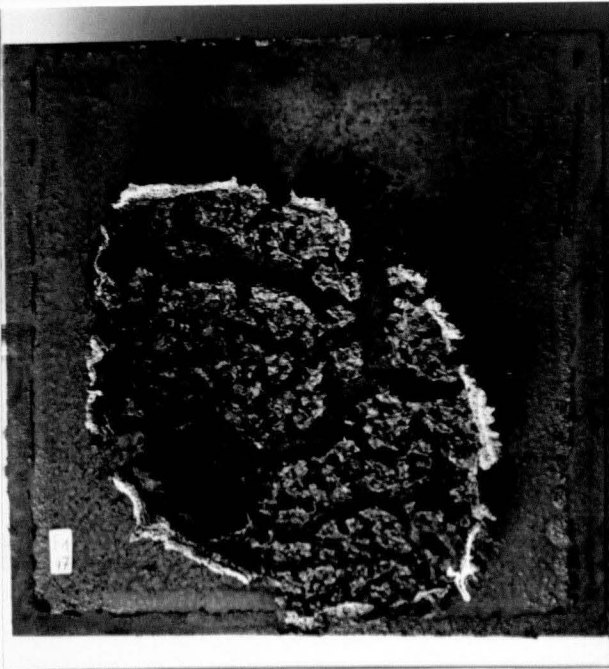


Abb. 40

Kleinbrandversuch am System I6
(Platte 47). Nullversuch. Stand-
zeit bis $T_{\text{Stahl}} = 500^{\circ}\text{C}$: 23 min.

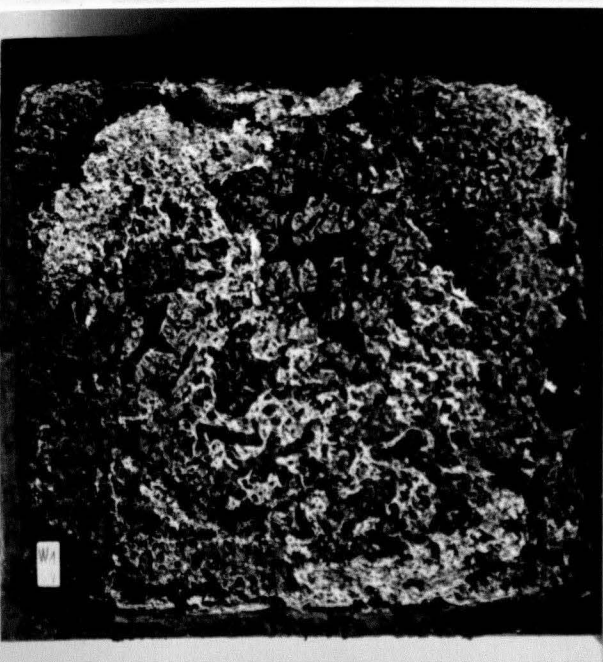


Abb. 41

Kleinbrandversuch am System I7
(Platte 54). Nullversuch. Stand-
zeit bis $T_{\text{Stahl}} = 500^{\circ}\text{C}$: 30 min.

Platte: 39

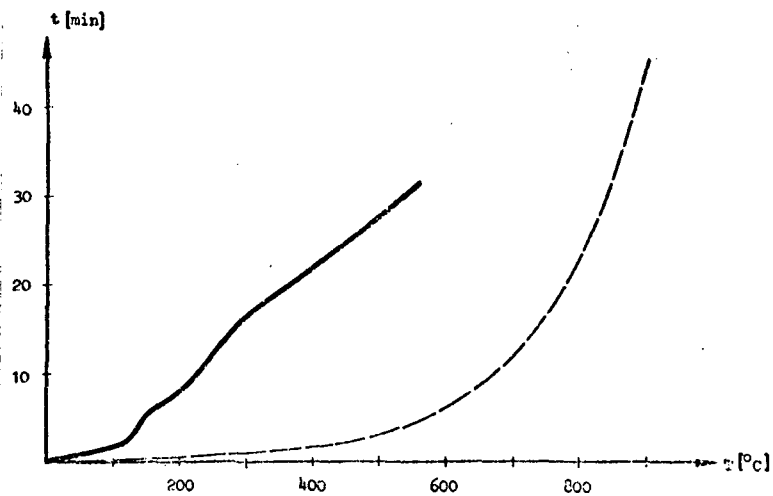


Abb. 42 System I1, Nullversuch.

Platte: 40

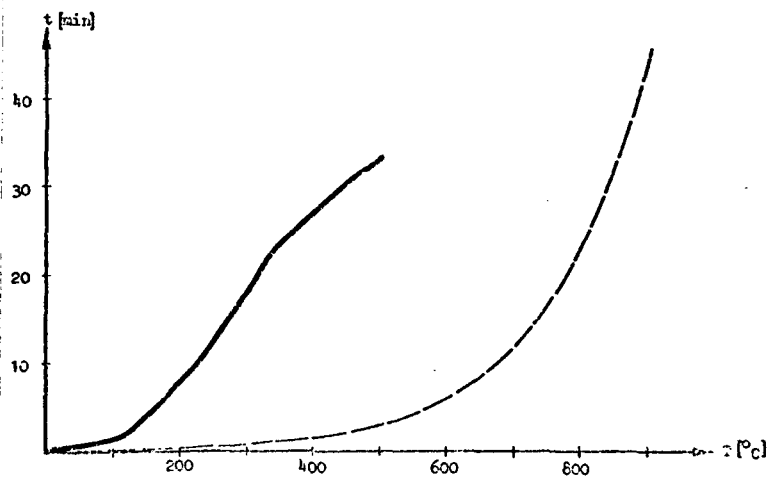


Abb. 43 System I1, Nullversuch.

Platte: 12

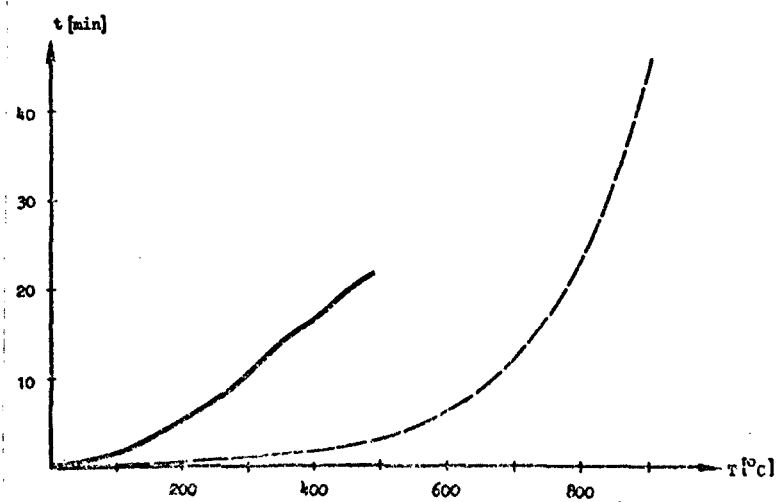


Abb. 44 System I1, Alter: 9 Monate.

Platte: 10

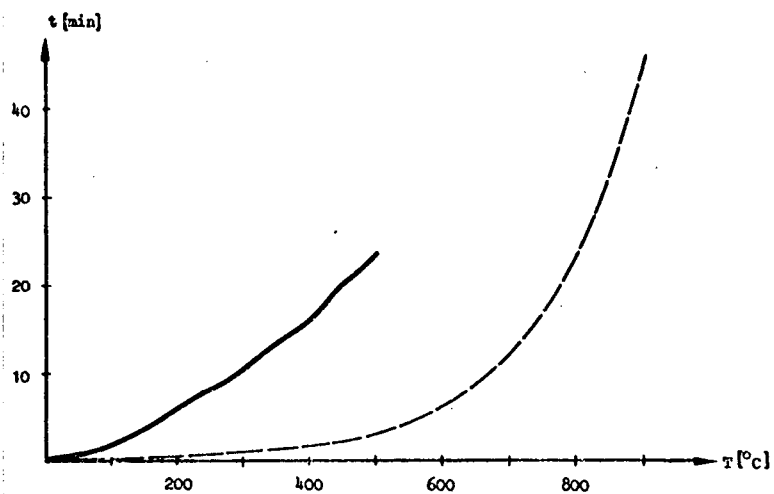


Abb. 45 System I1, Alter: 14 Monate.

Platte: 11

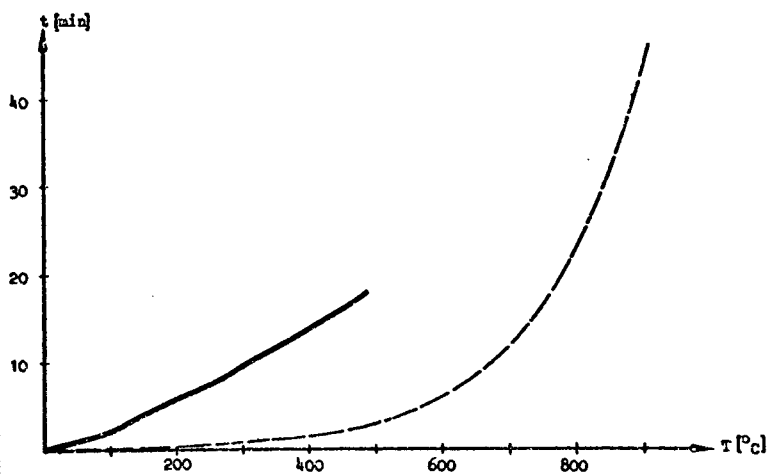


Abb. 46 System I1, Alter: 14 Monate.

Platte: 34

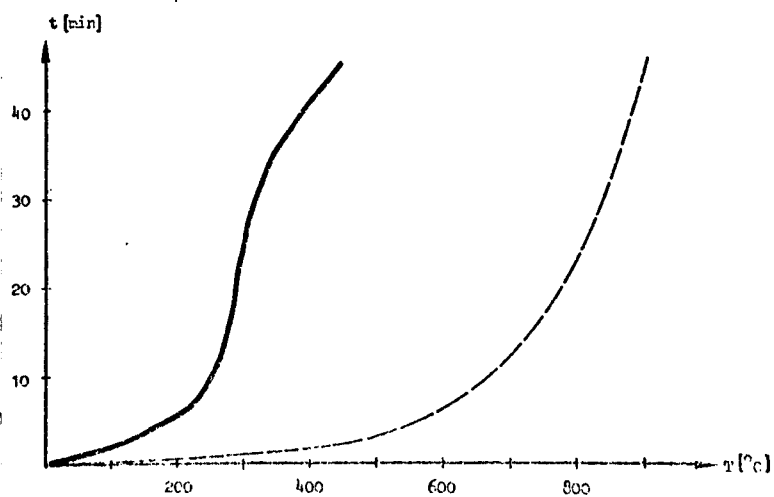


Abb. 47 System A2, Nullversuch.

Platte: 33

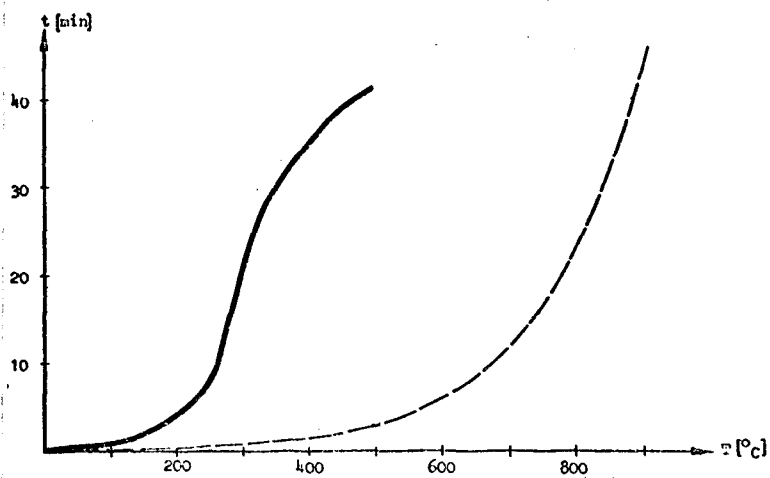


Abb. 48 System A2, Nullversuch.

Platte: 1

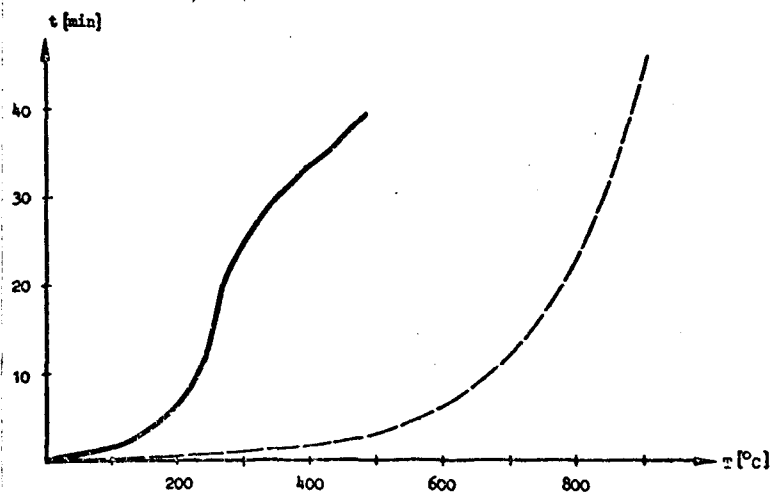


Abb. 49 System A2, Alter: 10 Monate.

Platte: 2 vor Brandversuch Wasserlagerung

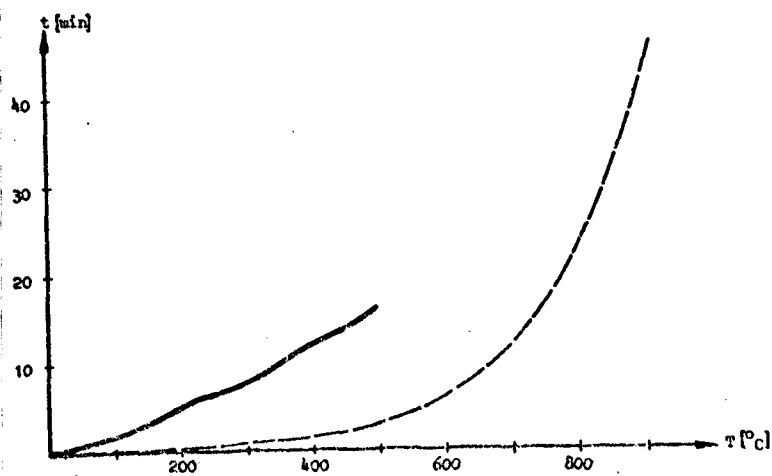


Abb. 50 System A2, 24 h Wasserlagerung vor dem Brandversuch.

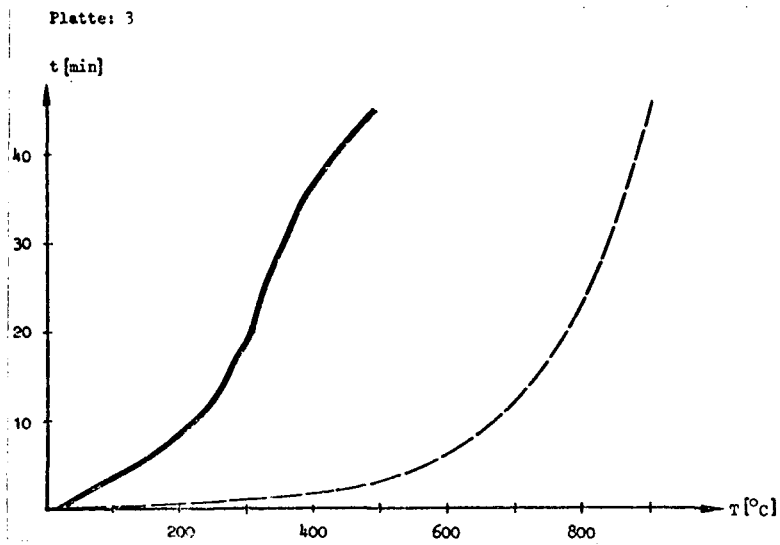


Abb. 51 System A2, Alter: 60 Monate.

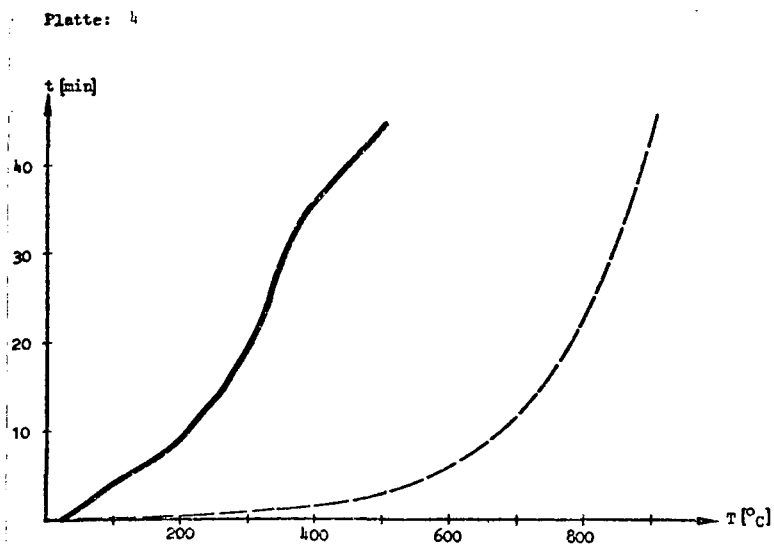


Abb. 52 System A2, Alter: 60 Monate.

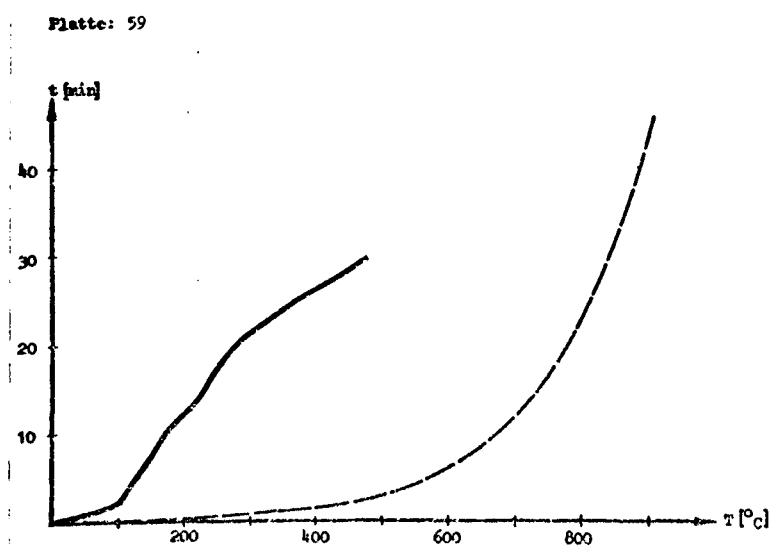


Abb. 53 System I3, Nullversuch.

Platte: 60

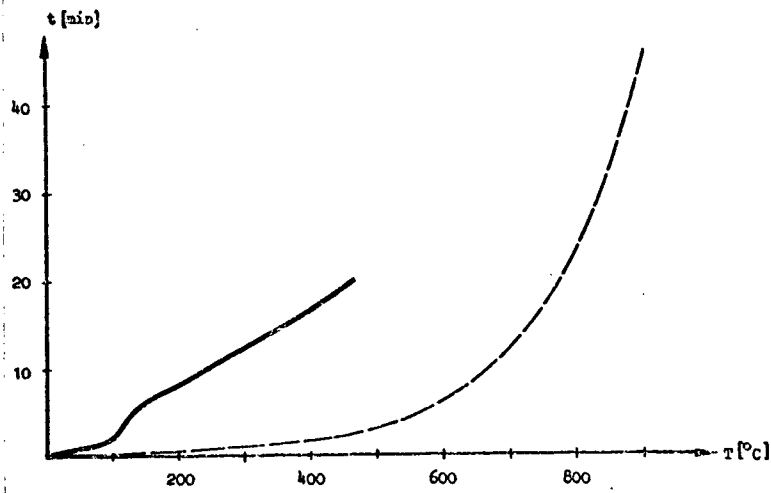


Abb. 54 System I3, Nullversuch.

Platte: 29

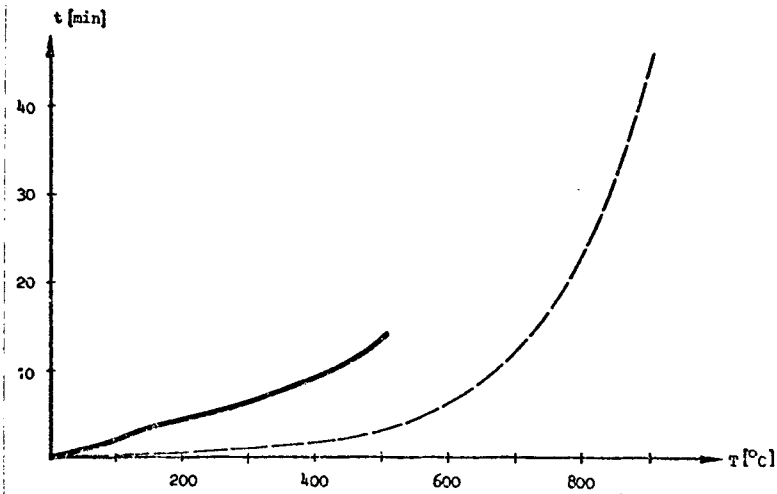


Abb. 55 System I3, Alter: 9 Monate.

Platte: 41

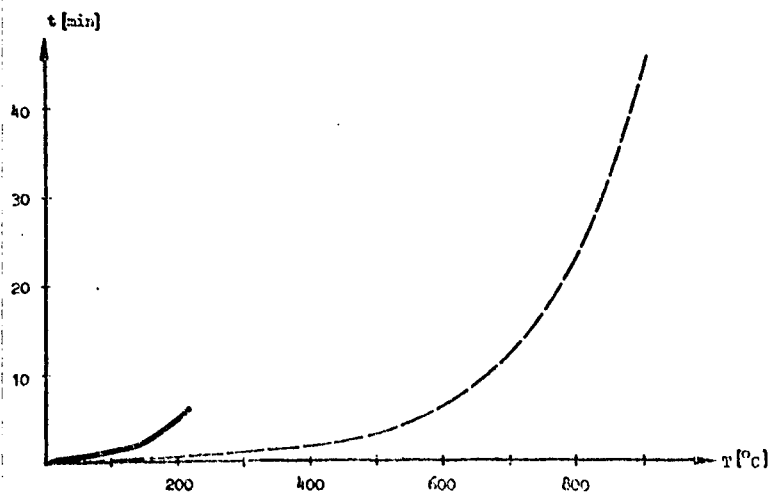


Abb. 56 System IA4, Nullversuch.

Platte: 42

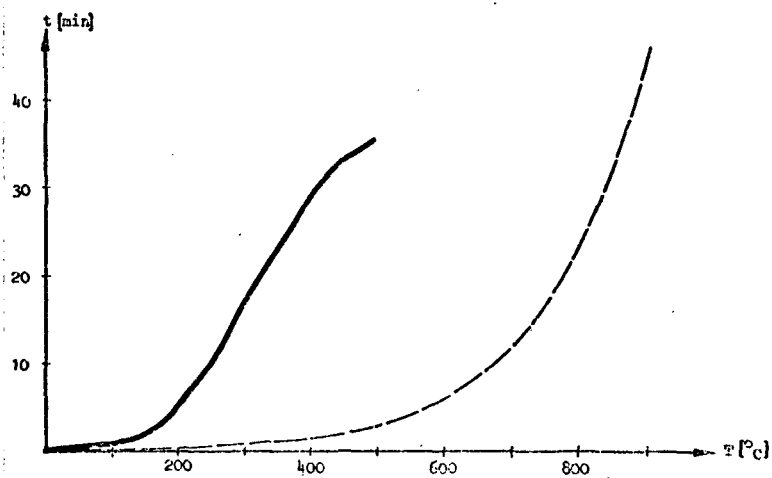


Abb. 57 System IA4, Nullversuch.

Platte: 13

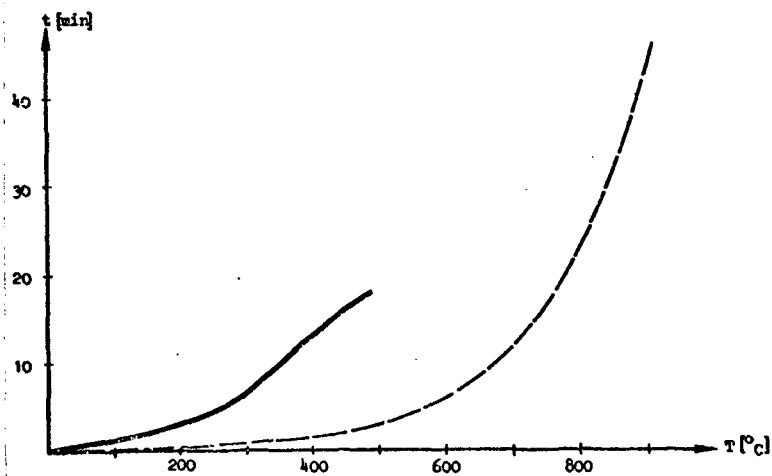


Abb. 58 System IA4, Alter: 9 Monate.

Platte: 14

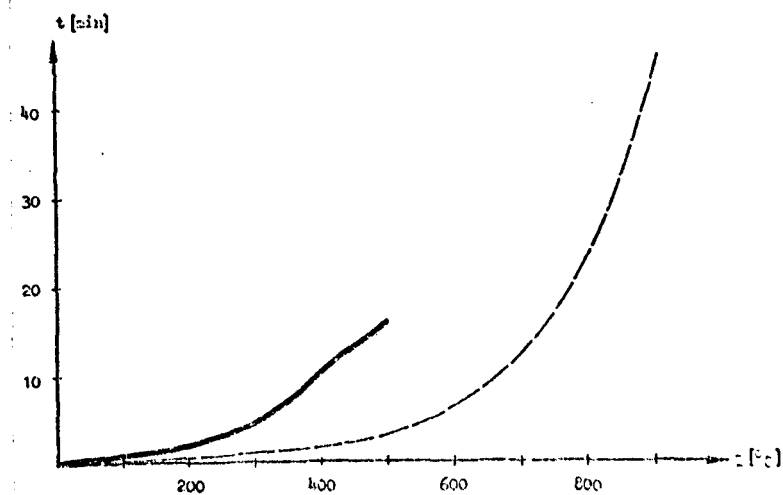


Abb. 59 System IA4, Alter: 9 Monate.

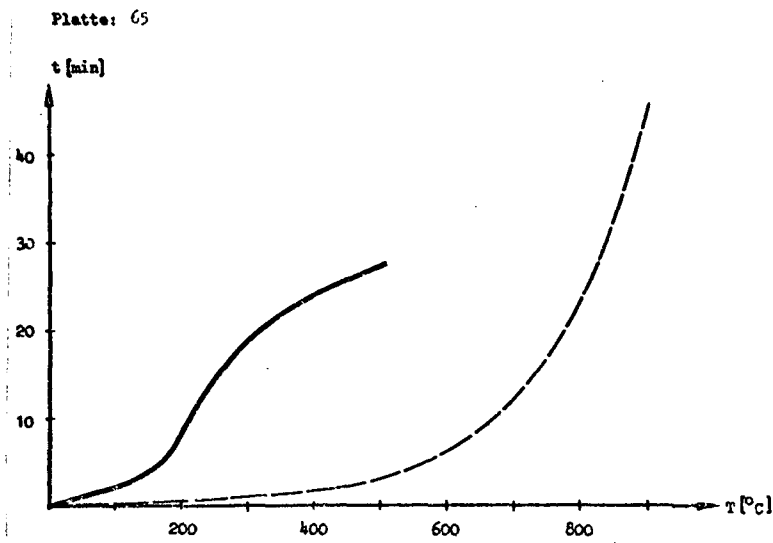


Abb. 60 System I5, Nullversuch.

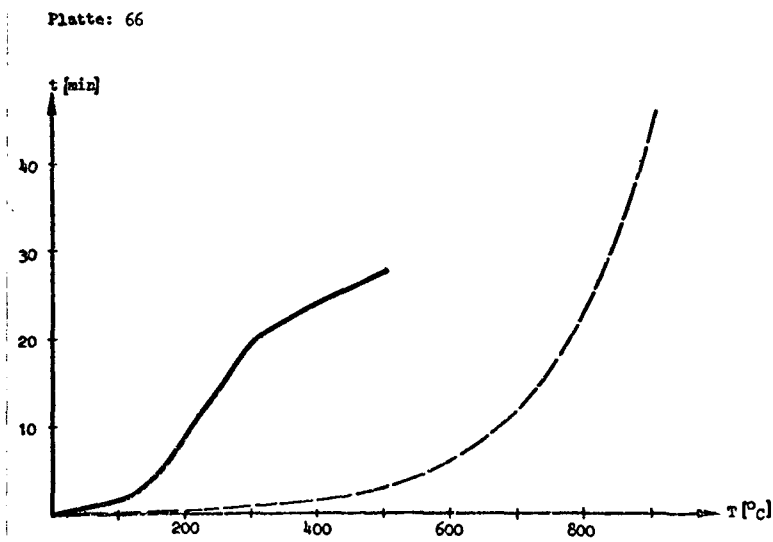


Abb. 61 System I5, Nullversuch.

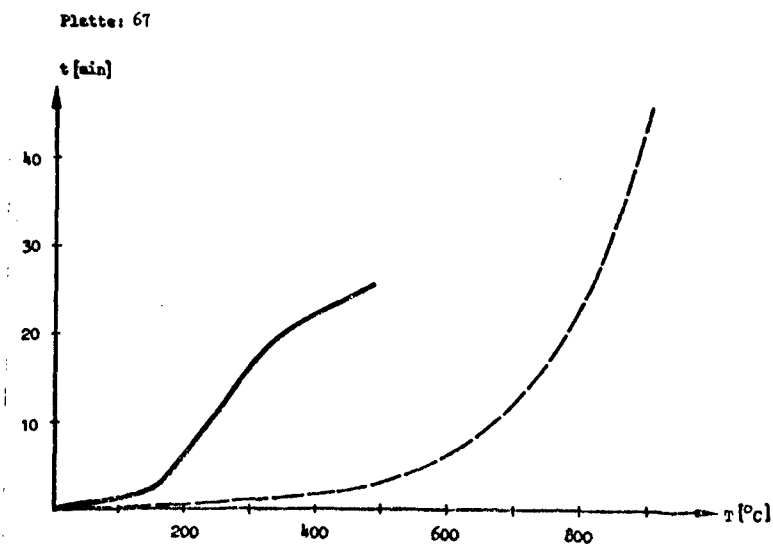


Abb. 62 System I5, Alter: 9 Monate.

Platte: 68

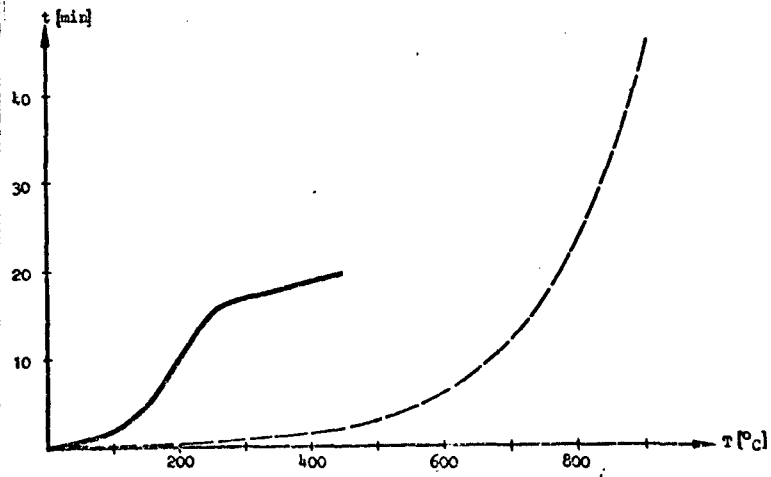


Abb. 63 System I5, Alter: 14 Monate.

Platte: 69

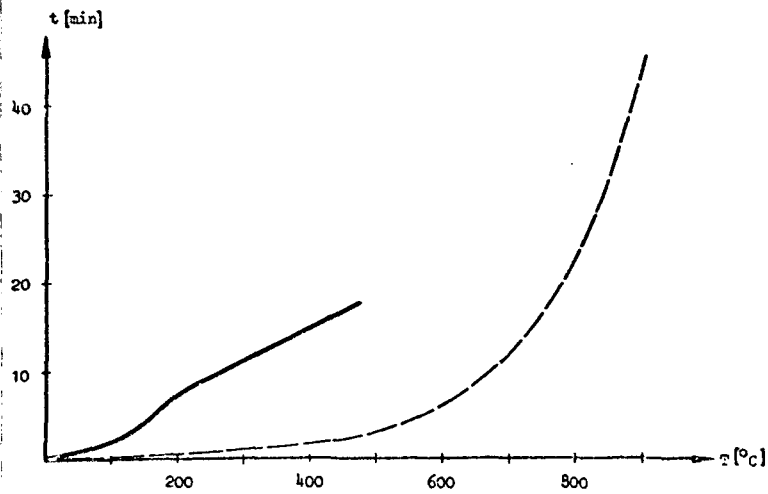


Abb. 64 System I5, Alter: 14 Monate.

Platte: 47

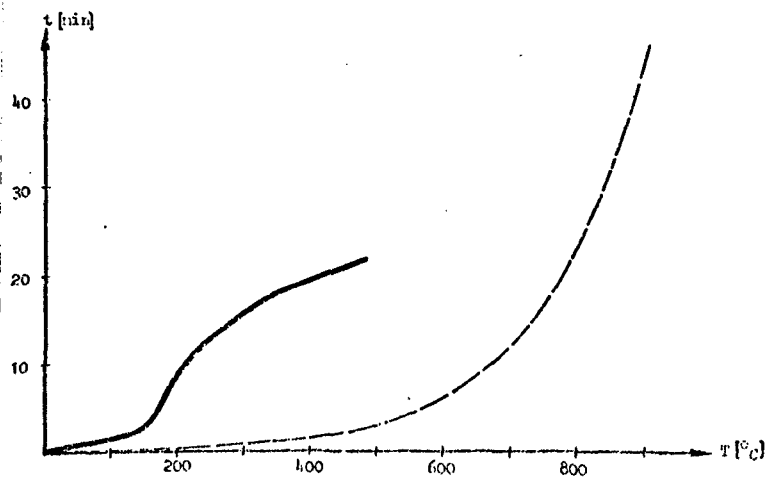


Abb. 65 System I6, Nullversuch.

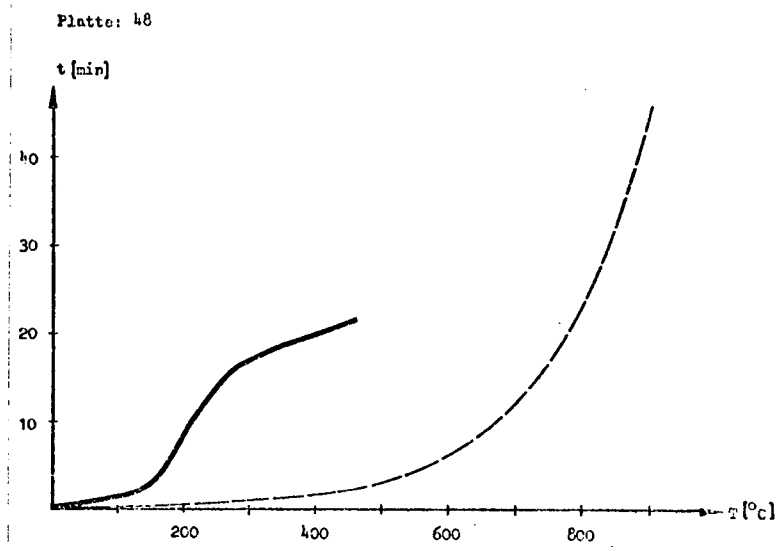


Abb. 66 System I6, Nullversuch.

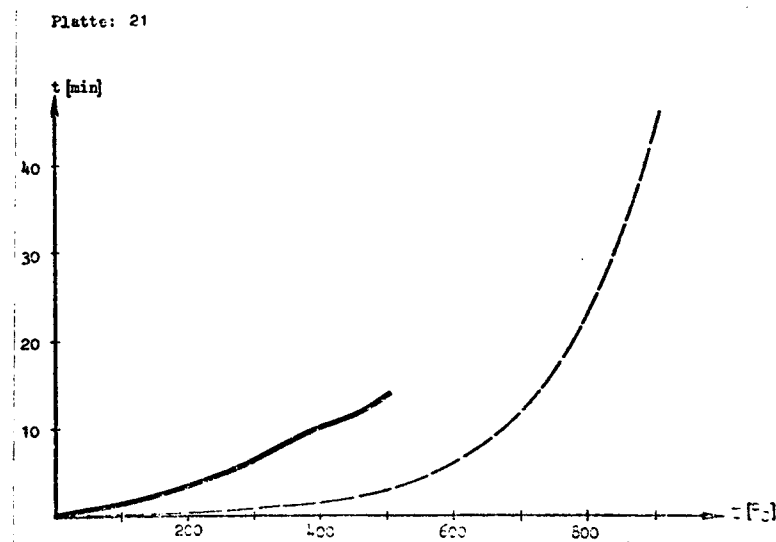


Abb. 67 System I6, Alter: 9 Monate.

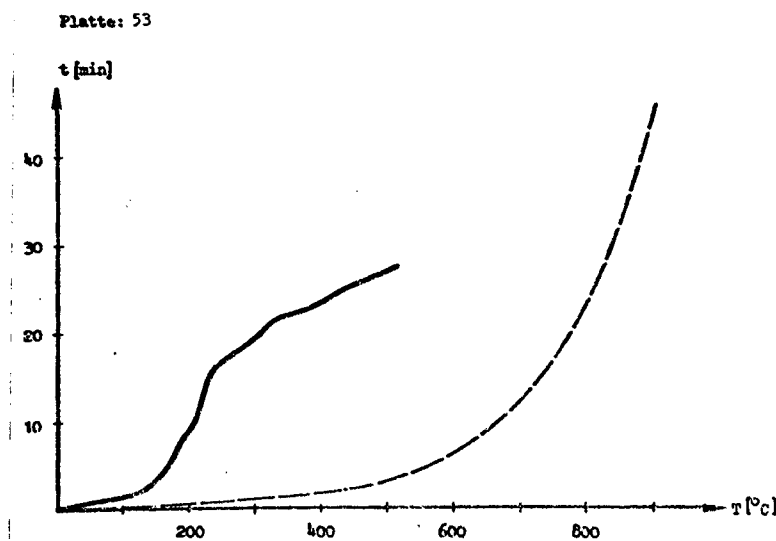


Abb. 68 System I7, Nullversuch.

Platte: 54

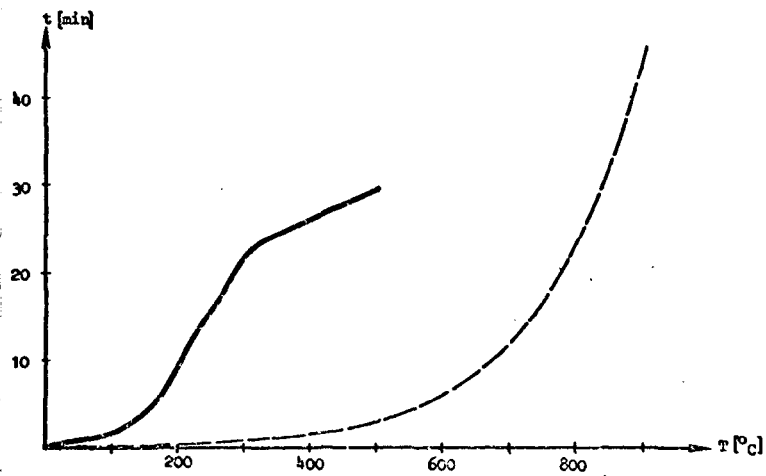


Abb. 69 System I7, Nullversuch.

Platte: 25

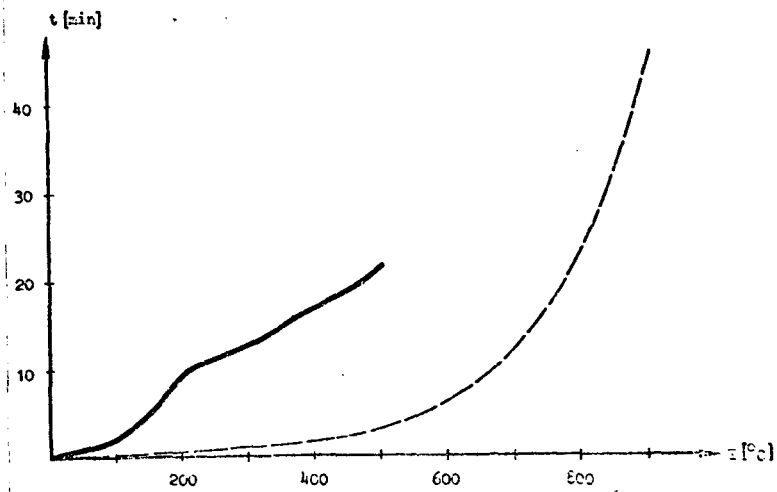


Abb. 70 System I7, Alter: 9 Monate.

Platte: 26

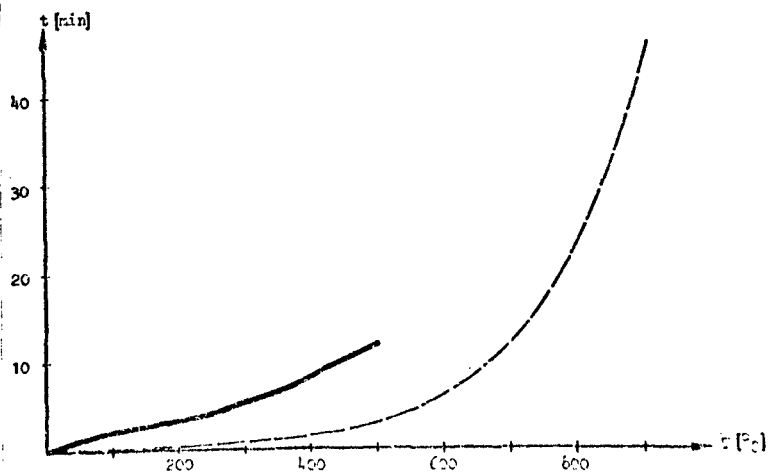


Abb. 71 System I7, Alter 14 Monate.

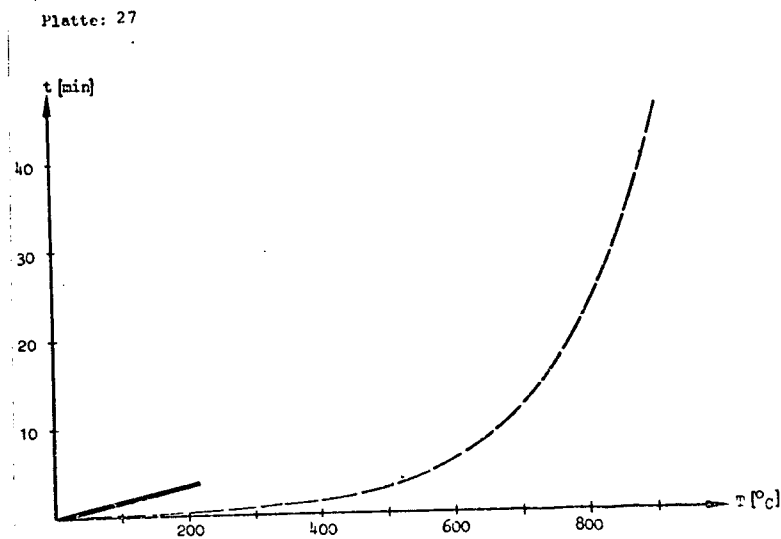


Abb. 72 System I7, Alter: 14 Monate.

11. Zusammenfassung und Empfehlungen

An insgesamt 7 dämmschichtbildenden Brandschutzanstrichen, davon 1 Anstrichsystem für Stahlbauteile, die der freien Witterung ausgesetzt sind, wurden Verfahren zur Ermittlung der Alterungsbeständigkeit untersucht. In die Untersuchungen wurden als zerstörungsfreie Prüfverfahren die magnet-induktive Schichtdickenmessung, die Schaukel-Härteprüfung nach Zeidler und die Härteprüfung mit dem Kreismesser einbezogen. Versuche zur Witterungsbeständigkeit wurden im Kesternichgerät sowie auf eigens für dieses Forschungsvorhaben eingerichteten Klimaprüfständen in "Außen"- und "Innenbewitterung" durchgeführt. Zur Ermittlung der Beanspruchung durch aggressive Bestandteile der Luft wurde die Fachliteratur gesichtet.

Alle Brandversuche fanden an Stahlplatten der Abmessungen 500 x 500 x 5 mm im Kleinbrandhaus mit dem Gegenheizgerät statt.

Die Ergebnisse der Forschungsarbeit lassen sich folgendermaßen kurz zusammenfassen:

- a) Der jeweilige Alterungszustand dämmschichtbildender Brandschutzanstriche läßt sich durch Schaukelhärte- oder Eindringhärtemessungen nicht bestimmen.
- b) Mit fortschreitendem Alter verspröden die Anstriche. Der Versprödung kann jedoch ein Zeitraum von bis zu 2 Jahren vorangehen, in der ein System erweicht.
- c) Aufgrund der Ergebnisse von a) und b) ist die magnet-induktive Schichtdickenmessung nur dann exakt, wenn nach der Messung auf der Anstrichoberfläche kein Eindruck der Sondenspitze zu sehen ist (Lupe). Es ist daher bei weichen Anstrichen ratsam, die Sonde ohne die eingebaute Druckfeder auf den Anstrich aufzusetzen. Anderenfalls sind Fehler bis zu 25 % möglich.
- d) Für die Aggressivgasbeanspruchung im Laborversuch ist nur SO_2 als sinnvoll anzusehen. Seine Konzentration im Industrieklima kann sich gegenüber Normalluft um den Faktor 1000 erhöhen. Im Kesternichversuch ist die zerstörende Wirkung von SO_2 deutlich nachweisbar. Die Schärfe der Beanspruchung gegenüber der reinen Schwitzwasserbeanspruchung wird durch SO_2 erhöht. Eine Beanspruchung von 0,2 l SO_2 auf 300 l Prüfraumvolumen ist gegenüber einer Zugabe von 2 l SO_2 vorzuziehen, um irreale Prüfergebnisse auszuschließen. Veränderungen an den Anstrichsystemen durch Hinzufügen von NH_3 zur Prüfatmosphäre gegenüber der reinen Schwitzwasserbeanspruchung nach DIN 50 017 konnten nicht beobachtet werden. Auf eine Beanspruchung mit NH_3 in der Bewitterungsprüfung kann daher verzichtet werden.

- e) Eingehende Untersuchungen der wirkenden Klimafaktoren an ausgelagerten Probekörpern über mehrere Jahre lassen die berechtigte Vermutung zu, daß die bisher gültige Vorschrift zur Prüfung der Alterungsbeständigkeit dämmschichtbildender Brandschutzanstriche für Außenbauteile einer weiteren Überarbeitung bedarf, weil

die Zahl der dort eingeplanten Temperatur- und Frostwechsel viel zu gering ist, und die Befeuchtungsperioden vor dem Einfrieren zu kurz sind.

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß zur Feuchtesättigung wenigstens 24 h erforderlich sind. Zur Formulierung eines Prüfverfahrens für die Ermittlung der Alterungsbeständigkeit von Außenanstrichen sind daher noch weitere Forschungsarbeiten nötig. Das Institut für Baustoffkunde hat - aufbauend auf den Ergebnissen dieser Arbeit - einen entsprechenden Forschungsantrag beim Nds. Minister für Wissenschaft und Kunst vorgelegt.

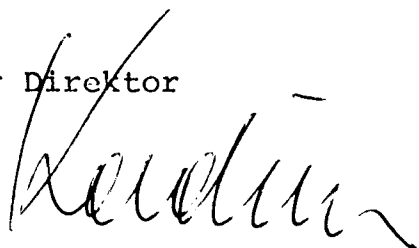
- f) Die zur Zeit gültige Vorschrift zur Prüfung der Alterungsbeständigkeit dämmschichtbildender Brandschutzanstriche für Innenbauteile bedarf anhand der eingehenden Untersuchung wirkender Klimafaktoren an Probekörpern, die mehrere Jahre vor unmittelbaren Witterungseinflüssen geschützt ausgelagert waren, keiner Überarbeitung.
- g) Der Brandversuch im Kleinbrandhaus mit Gegenheizgerät ist zur Zeit - neben dem eigentlichen Bauteilversuch - das einzige und sicherste Prüfverfahren zur Ermittlung der tatsächlichen Schutzwirkung eines Anstrichsystems und damit auch seiner Alterungsbeständigkeit. Eine Aufzeichnung der Temperaturen an den Probeplattenrückseiten ermöglicht detaillierte Aussagen über den Versagensmechanismus eines Anstrichsystems. Nachteilig sind der hohe experimentelle Aufwand und die damit verbundenen Kosten. Außerdem ist die Prüfung an das Labor gebunden.

Das Institut für Baustoffkunde hat daher dem Bundesminister für Raumordnung und Städtebau ein Forschungsvorhaben zur Finanzierung vorgelegt, das zusätzlich die Entwicklung eines handlichen und mobilen Prüfgerätes vorsieht, mit dem durch definiertes Aufheizen eines Anstrichsystems dessen noch vorhandenes Schaumbildungsvermögen im Labor oder an einer Stahlkonstruktion ermittelt werden kann.

- h) Die Bewitterungs- und Brandversuche haben gezeigt, daß bei Innenanstrichsystemen durch relativ kurzfristige Feuchtebeanspruchungen (z.B. nicht sofort entdeckte Undichtigkeiten in Dächern oder Rohrleitungen) die Feuerwiderstandsdauer rasch herabgesetzt wird. Bei derartigen Schadensfällen muß daher auch bei optisch intakt erscheinenden Anstrichen eine sorgfältige Prüfung der noch vorhandenen Schutzwirkung erfolgen (auch dazu ist auch das in g) beschriebene, noch zu entwickelnde Prüfgerät erforderlich.
- i) Anhand der Ergebnisse eines Brandversuches besteht der Verdacht, daß ein durchfeuchteter Brandschutzanstrich für Stahlbauteile, die der freien Bewitterung ausgesetzt sind, völlig versagt. Eine Klärung des Sachverhalts war in der hier vorgelegten Arbeit nicht mehr möglich. Entsprechende Untersuchungen wurden daher in der unter e) beschriebenen Forschungsarbeit eingeplant. Da deren Finanzierung aber noch nicht feststeht, sollten entsprechende Kleinbrandversuche an Stahlplatten mit durchfeuchteter Beschichtung möglichst kurzfristig durchgeführt werden. Der Sachverständigenausschuß "Brandverhalten von Bauteilen" des Instituts für Bautechnik, Berlin, wurde von diesem Ergebnis unterrichtet.

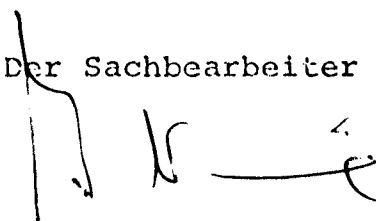
Die Autoren danken dem Niedersächsischen Minister für Wissenschaft und Kunst für die Finanzierung der Forschungsarbeit, der Industrie für die großzügige Bereitstellung von Prüfmaterialien und den Mitarbeitern des Instituts und der Materialprüfanstalt für die sorgfältige Durchführung der Messungen.

Der Direktor



(o.Prof. K. Kordina)

Der Sachbearbeiter



(Dr.-Ing. J. Neisecke)

Braunschweig, den 16.1.1978

12. Literaturverzeichnis

0) Allgemeines

- | | | |
|-----|---------------------------------------|---|
| [1] | Institut für
Bautechnik,
Berlin | Richtlinien für Prüfung und Zu-
lassung von dämmschichtbildenden
Brandschutzbeschichtungen auf
Stahlbauteilen
Fassungen: Febr. 1970, Nov. 1977 |
| [2] | Zeidler, G.,
Bleisch, G. | Laboratoriumsbuch für die Lack-
und Anstrichmittelindustrie
W. Knapp Verlag, Düsseldorf, 1967 |
| [3] | Rudolphi, R.,
Knublauch, E. | Beschreibung und Diskussion des
Gegenheizverfahrens zur näherungs-
weisen Bestimmung der Feuerwiderstands-
dauer bekleideter Stahlstützen.
Z. VFDB 4 (1969) 149 |

I) Mechanische und physikalische Prüfverfahren für Anstriche

- | | | |
|------|------------------------|---|
| [4] | Boller, C. | Verschleißfestigkeitsmessungen von
Anstrichen
Farbe und Lack 69 (1963) 7, S. 505-514 |
| [5] | Dreher, B. | Die Beziehung zwischen den Härteskalen
nach König, Persoz und Sward
Chemische Rundschau 5 (1964) S. 120 |
| [6] | Funke, W.
Zorll, U. | Über die Bestimmung der Verletzbarkeit
von Lack und Anstrichfilmen
Fachberichte für Oberflächentechnik
11 u. 12 (1968) 6, S. 209-214 |
| [7] | Hang, R. | Über die Abriebprüfung von Anstrichen
Deutsche Farben-Zeitschrift 19
(1965) 6, S. 222-225 |
| [8] | Künzli, A. | Das Messen und Prüfen der Rauheit
an technischen Oberflächen
Schweiz. Arch. wiss. Techn. 30
(1964), S. 179-190 |
| [9] | Lehmann, W. | Das Prüfen von Oberflächen
Maschinenmarkt 73 (1967) 7, S. 115-119 |
| [10] | Müller, P. | Verfahren und Geräte zur zerstö-
rungsfreien Schichtdickenmessung
Metall 18 (1964) 9, S. 954-963 |
| [11] | N.N. | Erleichterte Rauheitsprüfung mit
neuen Oberflächennormalen 9-10
(1967), S. 151 |

- [12] N.N. Mechanische Rauigkeits-Vergleichsmessung
Fachberichte für Oberflächentechnik 5-6
(1968), S. 109
- [13] N.N. Die Anwendung zerstörungsfreier
Schichtdickenmeßverfahren
Blech 14 (1967) 2, S. 70-71
- [14] N.N. Ein neues Ebenheits-Meßgerät
Fachberichte für Oberflächentechnik
3.-4. (1967), S. 54
- [15] Smith, N.D.P.
Orchard, S.E. Einige neue Methoden der Prüfung
von Anstrichen
Deutsche Farben-Zeitschrift 13 (1959)
12, S. 470-478
- [16] Springmann, K. Die Messung der Oberflächenrauheit
mit Tastschnittgeräten:
(Untersuchungen am Beispiel der Stab-
stahloberflächen)
Fachberichte für Oberflächentechnik
9.-10. (1968), S. 182
- [17] Tooke, R. Das Paint Inspection Gage, ein
neues Instrument für den Lackprüf-
techniker
Deutsche Farben-Zeitschrift 19 (1965)
11, S. 459-462
- [18] Weinmann, K.
Ortlieb, A.
Lindenthal, A. Die Bestimmung der Abriebfestigkeit
von Anstrichen und anderen Oberflächen-
schutzüberzügen mit Hilfe eines neuen
Gerätes
Farbe und Lack 65 (1959) 11, S. 647-651
- [19] Weinmann, K. Die Bestimmung der Porigkeit von
Lackfilmen (1. Teil)
Deutsche Farben-Zeitschrift 12
(1958) 3, S. 97-103
- [20] Weinmann, K. Die Bestimmung der Porigkeit von
Lackfilmen (2. Teil)
Deutsche Farben-Zeitschrift 12
(1958) 4, S. 136-139
- [21] Weinmann, K. Ein neues Gerät zur Härtemessung von
Anstrichen und anderen Schutzüber-
zügen
Farbe und Lack 68 (1962) 5, S. 323-326
- [22] Wolff, H. Ein Oberflächenprüfgerät mit piezo-
elektrischem Fühler
Werkstatt und Betrieb 98 (1965) 10,
S. 772-776

II) Brandschutz durch Anstriche

- [23] Becker, W. Brandsicherheit von Stahlkonstruktionen bei Verwendung dämmschichtbildender Brandschutzbeschichtungen Z.VFDB 4 (1965) S. 98-103
- [24] Gay, P.J. Protection of Flammable Building Materials by Surface Coatings Paint, Oil and Colour Journal 149 (1966), S. 1167-69
- [25] Heiner, H. Neuere Feuerschutz-Anstriche Farbe und Lack 64 (1958) 7, S. 382
- [26] Jawein, W. Brennbarkeit von Anstrichen und feuerhemmenden Farben Plaste und Kautschuk 5 (1958) 2, S. 81-83
- [27] Lämmke, A. Die Phosphatbestimmung in Holzschutzmitteln und behandeltem Holz und ihre Bedeutung zur Bestimmung der Aufbringmenge von Flammenschutzmitteln Sonderdruck aus Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung (1966) 53, S. 16-22
- [28] Lämmke, A. Die Stickstoffbestimmung in Feuerschutzanstrichen und ihre Bedeutung zur nachträglichen Bestimmung der Aufbringmenge dämmschichtbildender Flammenschutzmittel Sonderdruck aus "Holz als Roh- u. Werkstoff" (Springer-Verlag) (1968) 26, S. 85-88
- [29] Lämmke, A. Möglichkeiten zur Gütekontrolle von Holzschutzarbeiten mit dämmschichtbildenden Feuerschutzmitteln Sonderdruck aus "Mitteilungsblatt für die amtliche Materialprüfung in Niedersachsen" (1966/67), 6/7, S. 30-32
- [30] Lämmke, A. Verfahren zur Gütekontrolle von Holzschutzarbeiten mit dämmschichtbildenden Flammenschutzmitteln Sonderdruck aus "Holz als Roh- u. Werkstoff" (1967) 25, S. 95-102
- [31] Lundy, H. Fire-Retardant Paints and the Thermal Insulation Paint Technology 23 (1959), S. 165-167

- [32] Mock, J.A. Intumescent coatings make flammable materials safer
Materials Engng. 68 (1968) 1, S. 86-89
- [33] Murray, T.M. Formulation of Fire Retardant Paints
Liberti, F. Paint and Varnish Production 51
Allen, A (1961), S. 79-82
- [34] N.N. Fire Retardant Coatings,
Formulating with Isano Oil
Paint, Oil and Chemical Review 122
(1959) 9, S. 8-11
- [35] Reinsch, H.H. Die Schutzwirkung feuerhemmender
Anstrichstoffe
Chemische Rundschau, 18 (1965) 6, S. 171
- [36] Riese, W.A. Moderne feuerhemmende Anstrichsysteme
Deutsche Farben-Zeitschrift 11
(1957) 6, S. 174-176
- [37] Schwenk, E. Flammenschutzlacke
Systematik, Nomenklatur u. Prüfmethode
Deutsche Farben-Zeitschrift 14
(1960) 3, S. 89-95
- [38] Stumpp, K. Was leisten die chemischen Feuer-
schutzmittel?
Sonderdruck aus Holz-Zentralblatt 72
(1967) S. 1141-43
- [39] Ulbrich, K. Feuerschutzanstriche
Farbe und Lack 63 (1957) 4, S. 154-161
- [40] Verbung, G.B. Water-Resistant, Oil-Based,
Yeadon, D.A. Intumescent Fire-Retardant Coatings
Rayner, E.T. Journal of Paint Technology 38
Dollear, F.G. (1966) 498, S. 407
Dupuy, H.P.
Hopper, L.L.
York, E.
- [41] Yeadon, D.A. Water-Resistant, Oil-Based,
Rayner, E.T. Intumescent Fire-Retardant Coatings
Verbung, G.B. Journal of Paint Technology 37
Hopper, L.L. (1965) S. 1095-1111
Dollear, F.G.
Dupuy, H.P.
Miller, H.

III) Witterungsbeständigkeit, Kurzzeitprüfungen

- [42] Anon Accelerated Weathering of Paint Films
Journal of the Oil & Colour Chemists
47 (1964) 2, S. 73-113
- [43] Bullet, T.R. Accelerated Weathering and Related
Studies
Paint Technology, 19 (1965) 216,
S. 297-298
- [44] Buser, K. Zur Frage der Schnellbewitterung von
Anstrichen unter besonderer Berück-
sichtigung der Wasserbeanspruchung
Farbe und Lack 61 (1955), S. 69-70
- [45] Bush, G.F. New Artificial Weathering Methods
Rubber Age 85 (1959) 4, S. 641-42
- [46] Caryl, C.R. Outdoor and Accelerated Weathering
Rheineck, A.E. of Paints
Journal of Paint Technology, Off.
Digest 34 (1962) 452, S. 1017-1031
- [47] Caryl, C.R. Outdoor and Accelerated Weathering
Rheineck, A.E. of Paints
Journal of Paint Technology 37
(1965) S. 129-135
- [48] Chandler, K.A. The Prediction of coating performance
on steel
C/46/68, S. 1-10
- [49] D.Ans, J. Ein einfacher Behelfsklimaschrank
Ulbrich, K.H. Farbe und Lack 61 (1955) 1, S. 17-19
- [50] Elm, A.C. Principles of Paint Testing
Journal of Paint Technology, Off.
Digest 28 (1956) 380, S. 752-763
- [51] Funke, W. Vergleichende Untersuchungen über
Frei- und Kurzbewitterung
Farbe und Lack 64 (1958) 11, S. 609-610
- [52] Funke, W. Vergleichende Untersuchungen über
Wapler, D. Kurz- und Freibewitterung von Anstrichen
Haug, R. Deutsche Farben-Zeitschrift, 12
(1957) 12, S. 478-485
- [53] Génin, G. Matériel de contrôle dans les
fabriques de peinture
Peintures-Pigments-Vernis, 40 (1964)
5, S. 289
- [54] Hesse, H. Kurz-, Wetter- oder Kurzwetterprüfung
Farbe und Lack 57 (1951) 2,
S. 68-69

- [55] Holzweber, M. Vergleich der Ergebnisse einiger Kurzprüfungsmethoden mit dem Verhalten der geprüften Anstriche bei praktischer Beanspruchung
Deutsche Farben-Zeitschrift 13 (1959) 6, S. 218-229
- [56] Hörmann, R. Kurzzeitprüfungen von Anstrichen auf metallischem Untergrund
IfL-Mitteilung 6 (1967) 6, S. 211-220
- [57] Jangg, G.
Spund, W. Der "Atlas"-Weather-Ometer - ein modernes Materialprüfgerät zur kurzfristigen Prüfung auf Wetterbeständigkeit
Farbe und Lack 61 (1955) 12, S. 561-63
- [58] Jelpke, E.E.
Walker, A.G. Laboratory Testing of Paints
Paint Manufacture 26 (1956), S. 247-253
- [59] Kesternich, W. Prüfung metallischer und nichtmetallischer Schutzüberzüge auf Korrosionsbeständigkeit in einer künstlichen Industrielatmosphäre
Stahl und Eisen 71 (1951) 11, S. 587-588
- [60] Kronstein, M. Behavior of Paint Systems under Ultraviolet Radiation
Paint and Varnish Production 47 (1957) 7, S. 25-32, 106
- [61] Künstler, H.G.
Shur, E.G. Accelerated Testing of Finishes for Resistance to Weathering
Journal of Paint Technology 40 (1968) 516, S. 48 A - 54 A
- [62] Kutzelnigg, A. Übersicht über Verfahren und Vorschriften zur Kurzbeanspruchung im Rahmen der Klimaprüfung
Werkstoffe und Korrosion 7 (1956) 2, S. 65 - 82
- [63] Kutzelnigg, A. Vergleich zwischen dem Ergebnis der Freibewitterung in Industrieluft und der Kurzbeanspruchung in Schwefeldioxid enthaltender Atmosphäre
Werkstoffe und Korrosion 9 (1958) 7, S. 429-434
- [64] Lominska, C.A. Philosophy of Paint Exposure Testing
Journal of Paint Technology, Off. Digest 22 (1950), S. 691-720
- [65] Martin, K.G.
Campbell, P.G.
Wright, J.R. Comparison of Xenon and Carbon-Arc Weatherometers
Journal of Paint Technology 30 (1966) 5, S. 31-32

- [66] Morgner, J. Über den Wert vergleichender Bewitterungsprüfungen in künstlichem und in natürlichem feuchtwarmen Klima der VR China
Plaste und Kautschuk 11 (1964) 10, S. 630-632
- [67] Nowacki, L.J. An Evaluation of Various Weather-Ometers for Determining the Service Life of Organic Coatings
Journal of Paint Technology, Off. Digest 34 (1962) 454, S. 1191-1215
- [68] Okochi, T.
Suga, S. On the Relation between Weathering Test of Paints and Their Results Obtained by Weatherometer
J. Metal. Fin. Soc. Jap. 16 (1965) 4, S. 148 u. S. 191
- [69] Sattelmeyer, R.
Reichert, K.H. Untersuchung der Lichtschädigung von Lackfilmen bei der Exposition im Freien und im Kurzbewitterungsgerät
Deutsche Farben-Zeitschrift 22 (1968) 4, S. 137-144
- [70] Sawyer, W. Standard Oil Ultra-Violet Accelerated Testing Method
J. of Paint Technology, Off. Digest 33 (1961) 433, S. 268-282
- [71] Schellenberg, K. Vergleichende Laboruntersuchungen zur Bearbeitung der Wetterfestigkeit von Anstrichen
Deutsche Farben-Zeitschrift 19 (1965) 8, S. 318-322
- [72] Simon, G. Zeittraffender Bewitterungsversuch und Außenbewitterung
Kunststoffe 55 (1965) 6, S. 470-472
- [73] Singleton, W. A Study of the Quality of Water in Carbon Arc Light and Water Exposure Apparatus
American Paint Journal 41 (1957) 36, S. 92-100
- [74] Snow, C.I. Some Principles of Testing Paints and Varnishes
Journal of Paint Technology, Off. Digest 29 (1957) 342, S. 907-919
- [75] Spieß, C.F. Testeritis
Farbe und Lack 69 (1963) 12, S. 881-882

- [76] Stanton, J.S. Evaluation of the "Dew Cycle" Method of Accelerated Testing
Journal of Paint Technology 39 (1967) 514, S. 686-692
- [77] Sieg, F.B. Accelerating the Accelerated Weathering Test
Journal of Paint Technology 38 (1966) 492, S. 29-36
- [78] van Loo, M. Exterior Weathering Tests of Paints, Their Purpose and Value
Journal of Paint Technology, Off. Digest 36 (1964), S. 679-685
- [79] Weinmann, K. Bestimmung der Schutzwirkung und Lichtechtheit von Anstrichen, Lackierungen, Beschichtungen und anderen organischen Schichten mit Hilfe von Kurzprüfungen und Freibewitterungsversuchen (1. Teil)
Deutsche Farben-Zeitschrift 22 (1968) 1, S. 3-12
- [80] Weinmann, K. Bestimmung der Schutzwirkung und Lichtechtheit von Anstrichen, Lackierungen, Beschichtungen und anderen organischen Schichten mit Hilfe von Kurzprüfungen und Freibewitterungsversuchen (2. Teil)
Deutsche Farben-Zeitschrift 22 (1968) 2, S. 53-58
- [81] Wiederholt, W. Korrosionsprüfverfahren
Werkstoffe und Korrosion, 9 (1958) 3, S. 133-146

IV) Luftverunreinigungen

- [82] Bachl, H. Bedeutung der Fernwärmeversorgung für die Reinhaltung der Luft am Beispiel der Stadt München
Staub 28 (1968) 65,
- [83] Breuer, W.
Winkler, K. Herkunft und Ausbreitung von Luftverunreinigungen durch stationäre Registrierung mehrerer Immissionskomponenten
Wasser-Luft-Betrieb 11 (1967) 157
- [84] Breuer, W.
Winkler, K. SO₂-Immission bei austauscharmen Wetterlagen
Staub 25 (1965) 98
- [85] Buck, M. Der Einfluß des Meßzeitintervalls auf Kenngröße der SO₂-Immission
Staub 25 (1965) 112

- [86] Fuhrmann, H. Die registrierende Messung gasförmiger Immissions-Konzentration mit einem neuen Analysegerät
Staub 25 (1965) 266
- [87] Georgii, H.W.
Hoffmann, L. Beurteilung von SO₂-Anreicherungen in Abhängigkeit von meteorologischen Einflußgrößen
Staub 26 (1966) 511
- [88] Georgii, H.W. Die Belastung der Großstadtluft mit gasförmigen Verunreinigungen
Umschau Wiss. u. Techn. (1963) 24, S. 757
- [89] Gräfe, K.
Hettche, H.O. SO₂-Gehalt der Stadtluft in Beziehung zu Gesundheit und Wetter
Gesundheitsingenieur 81 (1960), 302
- [90] Grajetzki, H. Überwachung der Luftverunreinigung durch SO₂ im Raffineriezentrum Ingolstadt
Staub 24 (1964), 390
- [91] Herrmann, G. Kurz- und Langzeitmessung von SO₂-Spuren in der Atmosphäre mittels einer modifizierten Pararosanilin-Methode
Staub 25 (1965), 271
- [92] Höschele, K. Ergebnisse von Messungen des SO₂-Gehaltes der Luft in Karlsruhe
Staub 25 (1965), 102
- [93] Klug, H. Die meteorologischen Bedingungen starker Immissionsanreicherungen
Staub 25 (1965), 410
- [94] Körner, H.J. Immissionsbeaufschlagung durch SO₂ in der Umgebung eines Kraftwerkes
Wasser-Luft-Betr. 12 (1969) 11, S. 705-08
- [95] Körner, H.J. Zur SO₂-Immissionsbelastung im Stadtgebiet von Frankfurt
Wasser-Luft-Betrieb 10 (1966), 694
- [96] Körner, H.J. Überwachung der SO₂-Immission im Lande Hessen
Wasser-Luft-Betrieb 13 (1969), 253
- [97] Köhler, A.
Fleck, W. Konzentration gasförmiger Luftverunreinigungen in belasteten und "reinen" Gebieten
Staub 29 (1969), 499/503

- [98] Kolar, J. Die Zunahme der Schwefeldioxid-immission bei lang andauernden, austauscharmen Wetterlagen
Staub 29 (1969), 508/510
- [99] Kozel, J. Zur Frage der durch Luftverunreinigung verursachten Schäden
Malý, V. Staub 28 (1968), 246
- [100] Kündig, S. Turicum II, ein einfacher Apparat zur Registrierung der SO₂-Konzentration in der Atmosphäre
Högger, D. Staub 24 (1964), 408
- [101] Kutzelnigg, A. Maßnahmen zur Verhinderung der Korrosion durch Aufbereitung der Atmosphäre
Werkstoffe u. Korrosion 7 (1957), 492
- [102] Lahmann, E. Messung der horizontalen Verteilung von CO-Konzentration in einer Straße
Meuk, G. Staub 28 (1968), 144
Prescher, K.-E.
- [103] Lahmann, E. Zum Einfluß der Meßdauer auf die Ergebnisse von automatischen CO-Bestimmungen an einem Ort.
Staub 28 (1968), 371
- [104] Lahmann, E. Kontinuierliche Ozon-Messungen in einer verkehrsreichen Straße
Westphal, J. Gesundheitsingenieur 89 (1968) 5, 144
Damaschke, K.
Lübke, M.
- [105] Lahmann, E. Beziehung zwischen H₂S-Immission und Gerüchen in der Umgebung von Viscose-Betrieben
Körner, H.J. Gesundheitsingenieur 90 (1969) 10, S. 293-95
- [106] Noll, W. Luftuntersuchungen in Aschaffenburg im Jahre 1965
Gesundheitsingenieur 87 (1966), 354
- [107] Prescher, K.-E. Die Bestimmung von H₂S in atm. Luft nach dem Methylenblau-Verfahren
Lahmann, E. Gesundheitsingenieur 87 (1966), 351
- [108] Prinz, B. Anwendungsmöglichkeiten der Faktorenanalyse bei Immissionsuntersuchungen
Stratmann, H. Staub 28 (1968), 25
- [109] Rakestraw, N.W. CO₂ in der Atmosphäre und an der Meeresoberfläche
Chemistry 38 (1965), 15/9

- [110] Schwegler, H. Luftreinhaltung in München
Staub 27 (1967), 429
- [111] Stratmann, H. Untersuchung über die Bedeutung
Rosin, D. einer empirischen Kenngröße zur
Beschreibung der Häufigkeitsver-
teilung von SO₂-Konzentrationen
in der Atmosphäre
Staub 24 (1964), 520
- [112] Stratmann, H. Meßtechnische Grundlagen auf dem
Gebiet gasförmiger Luftverunrei-
nigungen
Staub 25 (1965), 341